



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

CAMPUS CALKINÍ

**“Evaluación fisicoquímica y sensorial de pasta elaborado
con sémola de trigo duro y harina de almendras de
Melicoccus bijugatus Jacq”**

TESIS

Que Presenta

BEEIRI DE LOS ANGELES PALMA CHAN

Como requisito para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Director de tesis:

DR. JORGE CARLOS CANTO PINTO

DR. VÍCTOR MANUEL MOO HUCHIN

DR. RACIEL JAVIER ESTRADA LEON

DR. EMILIO PÉREZ PACHECO

Calkiní, Campeche, México

Noviembre, 2023



Calkiní, Campeche a 27 de noviembre de 2023

El Comité de tesis del candidato (a) a grado de maestro: Beeiri de los Ángeles Palma Chan, constituido por CC. Dr. Jorge Carlos Canto Pinto, Dr. Víctor Manuel Moo Huchin, Dr. Emilio Pérez Pacheco y Dr. Raciél Javier Estrada León habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **Evaluación fisicoquímica y sensorial de pasta elaborado con sémola de trigo duro y harina de almendras de *Melicoccus bijugatus* Jacq.**, que presenta como requisito para obtener el grado de Maestro (a) en Ciencias de la Ingeniería según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.15.5, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado del Tecnológico Nacional de México dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE



DR. JORGE CARLOS CANTO PINTO
DIRECTOR DE TESIS



DR. VÍCTOR MANUEL MOO HUCHIN
CO-DIRECTOR DE TESIS



DR. RACIEL JAVIER ESTRADA LEÓN
TUTOR



DR. EMILIO PÉREZ PACHECO
TUTOR



Calkiní, Campeche a 27 de noviembre de 2023

Asunto: Autorización de impresión de tesis

DR. DANY ALEJANDRO DZIB CAUICH
DIRECTOR ACADÉMICO
PRESENTE

Por medio del presente, nos permitimos informar, que el comité tutorial ha concluido con la revisión de la tesis **"EVALUACIÓN FISCOQUÍMICA Y SENSORIAL DE PASTA ELABORADO CON SÉMOLA DE TRIGO DURO Y HARINA DE ALMENDRAS DE MELICOCOCCUS BIJUGATUS JACQ"** desarrollada por la estudiante Beeiri de los Ángeles Palma Chan, con matrícula 7572 de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimientos Bioprocesos y Alimentos, y autorizamos la impresión de la misma, para que la estudiante continúe con el trámite de titulación.

Sin más por el momento, nos despedimos quedando a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

ATENTAMENTE

Dr. Jorge Carlos Canto Pinto
Director de Tesis

Dr. Victor Manuel Moo Huchin
Co-director de Tesis

Dr. Rocio Javier Estrada León
Miembro de comité tutorial interno

Dr. Emilio Pérez Pacheco
Miembro de comité tutorial externo

Dr. Luis Alfonso Can Herrera
Jefe de Departamento de Posgrado e Investigación



**El Comité Organizador del III Congreso de Desarrollo Territorial
2022: "Biodiversidad E Innovación"**
Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

A: Palma-Chan, B.A., Moo-Huchin, V.M., Canto-Pinto, J.C., Estrada-
León, R.J., Ramírez-Sucre, M.O., Pérez-Pacheco, E., Ortiz-Fernández, A.

*Por la presentación del trabajo en modalidad oral: "Evaluación de la calidad de
cocción, textura y color de una pasta de sémola de trigo adicionado con harina de
semillas de huaya (*Melicoccus bijugatus Jacq*)"*

Mtra. Gloria Stephany Aguirre Moreno
Rectora

Dra. María Liliana Flores López
Presidenta del Comité Organizador

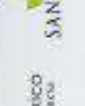
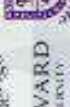
Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez
Presidenta Del Comité Científico

Proyecto Apoyado por:



Secretaría
de Educación
Gobierno de Puebla

CONCYTEP
Consejo de Ciencia
y Tecnología del Estado
de Puebla



Ahuacatlán, Puebla,
México 26-28, Octubre

Carta de reconocimiento de director (es) de tesis.



Calkiní, Campeche a 27 de noviembre de 2023.

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mis estudios de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Tecnológico Nacional de México - Campus Calkiní. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

BEEIRI DE LOS ÁNGELES PALMA CHAN





Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, en el Estado de Campeche

Calkiní, Campeche a 28 de noviembre de 2023

Asunto: Carta de liberación de plagio

Dr. Luis Alfonso Can Herrera
Jefe del Departamento de Posgrado e Investigación
PRESENTE

Por este medio, me permito informarle que con base en los resultados obtenidos por el software institucional *Turnitin similarity*, es posible afirmar que el porcentaje de similitud de la tesis (2%), es menor al máximo permitido por el consejo académico. La tesis analizada corresponde a la estudiante **Beeiri De Los Ángeles Palma Chan** con número de matrícula G21137572 perteneciente al Programa de Maestría en Ciencias de la Ingeniería, cuyo título de tesis es **"Evaluación fisicoquímica y sensorial de pasta elaborado con sémola de trigo duro y harina de almendras de *Melicoccus bijugatus* Jacq"** dirigido por el **Dr. Jorge Carlos Canto Pinto**.

Con base a lo descrito anteriormente, se establece la tesis como LIBERADA DE PLAGIO.
Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

DR. RACIEL JAVIER ESTRADA LEÓN
PRESIDENTE DEL CONSEJO DE POSGRADO

AGRADECIMIENTOS

A mi **familia**, por su confianza, apoyo y amor incondicional.

A mis **asesores**: el **Dr. Jorge Carlos Canto Pinto** y el **Dr Víctor Manuel Moo Huchin**, quienes me invitaron a volver a trabajar bajo su asistencia en el desarrollo del presente documento. Ofreciendome su apoyo académico y moral para poder concluir con el programa educativo de maestría.

Al **Dr. Raciél Javier Estrada León** y el **Dr. Emilio Pérez Pacheco**, por sus consejos constructivos durante los seminarios para ayudarme a mejorar el proyecto de investigación.

A las siguientes instituciones, al Instituto Tecnológico Superior de Calkiní del Estado de Campeche (**ITESCAM**), al Instituto Tecnológico de Mérida (**ITM**) y, al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (**CIATEJ**) sede Sureste por abrirme las puertas en sus instalaciones para la realización para cumplir con mis metodologías y un espacio agradable para escribir esta tesis profesional.

Al Conahcyt y a la Fundación Pablo García, por el apoyo económico con el que supo concluir con el presente trabajo de investigación.

DEDICATORIAS

A **Dios**, por ser mi guía fundamental en momentos de adversidad cuando necesito ser fuerte, incluso antes de comenzar alcanzar este objetivo.

De igual forma a mi familia, a mis padres: **Hipólito Palma Chi y Neyra del Carmen Chan Poot**, por siempre confiar en mí y brindarme todo su amor, pero sobre todo su apoyo en esta nueva travesía y motivándome en alcanzar mis metas.

A mis hermanitos, ambos son parte fundamental de mi vida. Mi hermanita **Dulce**, mi compañera y complice de travesuras, siempre jugando y apoyándonos en momentos difíciles. Mi hermanito **Ángel**, aunque partiste muy pequeño siempre estarás en nuestros corazones.

A mi pequeño sobrino **Arturo**, llegó de forma inesperada y me mostró que todo puede cambiar de un día para otro, me enseñó a pensar desde otra perspectiva y que los momentos felices predominan cuando puedo jugar a su lado.

ÍNDICE

RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO I.....	3
ANTECEDENTES.....	3
1.1 <i>Melicoccus bijugatus</i> Jacq.....	3
1.1.1 Composición química del fruto y el almidón de semilla de <i>Melicoccus bijugatus</i> Jacq.....	5
1.2 Sustitución del trigo en la elaboración de pastas alimenticias.....	8
1.2.1 Estructuración de las pastas alimenticias.....	14
1.2.2 Propiedades nutricionales de una pasta alimenticia de trigo duro	16
1.2.3 Calidad y digestibilidad de pastas	21
JUSTIFICACIÓN.....	28
OBJETIVOS	30
1.3 Objetivo general	30
1.4 Objetivos específicos.....	30
CAPÍTULO II.....	31
MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
2.1. Estrategia general de trabajo.....	31
2.2 Obtención de la harina de huaya.....	32
2.3 Determinación de porcentajes de sustitución para la obtención de masa	32
2.4 Obtención y cocción de pasta.....	33
2.5 Determinación de toc de las mejores formulaciones.....	33
2.6 Calidad de cocción	34
2.7 Propiedades físicas	34
2.7.1 Color	34
2.7.2 Perfil de textura (TPA).....	35
2.8 Propiedades nutricionales	35
2.8.1 Composición química proximal	35
2.8.2 Índice glucémico <i>in vitro</i>	35
2.8.3 Digestión de proteínas	37
2.9 Análisis estadístico.....	37

CAPÍTULO III.....	38
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	38
3.1 Determinación de los porcentajes de sustitución de trigo por harina de huaya y tamaño de partícula.....	38
3.2 Efecto de la sustitución en las propiedades de calidad de cocción y textura	40
3.3 Color instrumental CIE	43
3.4 Composición nutricional de las pastas.....	44
3.5 Digestibilidad de proteínas (DIP)	46
3.6 Análisis sensorial de pastas	47
CAPÍTULO V	49
CONCLUSIONES	49
ANEXO	49
Tiempo óptimo de cocción	50
Pérdida de sólidos por cocción	50
Índice de hinchamiento y absorción de agua	50
Peso de pasta cocida	50
Metodología de azúcares reductores	50
BIBLIOGRAFÍA.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Distribuciones naturales y área de naturalización aproximadas de la huaya, <i>Melicoccus bijugatus</i> Jacq, en el neotrópico.	3
Figura 1.2 <i>Melicoccus bijugatus</i> Jacq: a) corteza; b) hojas; c) flores; d) frutos; e) árbol	4
Figura 1.3 Hidrólisis <i>in vitro</i> de almidón nativo de huaya.....	7
Figura 1.4 Aspecto de granos de trigo: a) <i>Triticum aestivum</i> ; b) <i>Triticum durum</i>	8
Figura 1.5 Clasificación de pastas por forma y tamaño	13
Figura 1.6 Máquinas de producción de pastas: A) Laminadora de masa y B) Extrusora..	15
Figura 1.7 Gráfica de perfil de textura (TPA).....	22
Figura 1.8 Digestión de carbohidratos y proteínas	23
Figura 1.9 Curva de índice glucémico (IG) y carga glucémica (CG)	25
Figura 2.1 Estrategia general de trabajo	31
Figura 3.1 Laminado y corte de pastas con 0, 20, 30, 40 y 50 % de harina de huaya	39
Figura 3.2 Tamaño de partícula: A) harina de almendra de huaya; B) sémola de trigo <i>durum</i>	40
Figura 3.3. Porcentaje de digestibilidad <i>in vitro</i> de proteínas de pastas cocidas elaborados con ST y harina de huaya.	47
Figura 3.4 Aceptación de apariencia, textura, olor y aceptabilidad general de pastas cocidas elaboradas con ST y HH.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Contenido de compuestos bioactivos en fruta de huaya cultivadas en Yucatán, México (% peso fresco)	6
Tabla 1.2 Composición química proximal de harina cruda y almidón nativo de harina de semilla de huaya (% peso seco)	6
Tabla 1.3 Características químicas del almidón de huaya	7
Tabla 1.4 Características físicas de granos de trigo duro y blando	9
Tabla 1.5 Estimación de la producción mundial de pasta.....	10
Tabla 1.6 Estimación del consumo mundial de pasta.....	11
Tabla 1.7 Formulación y efectos de pastas fortificadas con diferentes ingredientes	19
Tabla 2.1 Escala de estimación de elaboración de masas para pastas alimenticias	33
Tabla 3.1 Efecto de la sustitución de sémola de trigo con harina de huaya (<i>Melicoccus bijugatus</i> Jacq) en las características de la masa para la elaboración de una pasta fettuccine	39
Tabla 3.2 Calidad de cocción y perfil de textura (TPA) de pasta fettuccine de sémola de trigo y pastas con harina de huaya	42
Tabla 3.3 Efecto de la adición de harina de huaya sobre parámetros de color CIELAB de pasta fettuccine cruda y cocida elaborada con sémola de trigo	43
Tabla 3.4 Composición nutricional de pasta de sémola de trigo sustituida con harina de huaya.....	45

RESUMEN

Las semillas de *Melicoccus bijugatus* Jacq (también conocida como huaya) son un subproducto del fruto que se puede aprovechar. En un estudio previo se ha demostrado que las almendras contienen almidón resistente a la hidrólisis enzimática. La harina de almendra de huaya (HH) puede ser un ingrediente alternativo y novedoso para sustituir granos convencionales como el trigo en la elaboración de alimentos de alto consumo como las pastas alimenticias. Sin embargo, para considerar a la HH como un ingrediente funcional en la elaboración de pastas, es necesario determinar la proporción de los componentes de su formulación para obtener la masa y la pasta con excelentes atributos de calidad. El objetivo del trabajo fue evaluar la calidad de cocción, propiedades nutricionales, físicas y sensoriales en pastas de sémola de trigo duro (ST) adicionadas con HH. Las pastas con 0, 20, 30, 40 y 50 % de sustitución fueron evaluadas con base en una escala de estimación para obtener masas cohesivas, sin presencia de rupturas durante el laminado y el corte de pasta fettuccine. Los niveles de sustitución del 20 y 30 % fueron seleccionados para estudios posteriores a la pasta. Las pastas con 0, 20 y 30% de HH fueron presecadas y luego cocidas para determinar su calidad de cocción a su tiempo óptimo de cocción (TOC), pérdidas por cocción, índice de hinchamiento, absorción de agua y peso de pasta cocida. En pastas sin cocer y cocidas se evaluó las propiedades físico-químicas (perfil de textura TPA, color, humedad, cenizas, grasa, fibra, proteína, índice de glucémico y digestión de proteínas) y sensoriales (prueba de aceptación de consumidor). A partir de los datos obtenidos, la adición de HH (20 y 30%) en pastas de trigo disminuyó el Tiempo Óptimo de Cocción (TOC), la absorción de agua y el peso de la pasta cocida. Las pastas con HH resultaron con una buena calidad de cocción ya que la pérdida por cocción e índice de hinchamiento no sobrepasan los valores de referencia. Las pastas cocidas con HH mostraron un contenido más alto de grasas, carbohidratos y un aporte calórico mayor. Las pastas con HH tuvieron una coloración marrón, con mayor digestibilidad de proteínas y con buena aceptación sensorial (valores alrededor de 8.0, me gusta mucho). De tal forma, HH puede considerarse como una harina alternativa novedosa para la elaboración de pastas alimenticias con hasta 30 % de sustitución sin interferir en su aceptación sensorial.

ABSTRACT

The seeds of *Melicococcus bijugatus* Jacq (also known as huaya) are a by-product of the fruit that can be utilized. A previous study has shown that the kernels contain starch that is resistant to enzymatic hydrolysis. Huaya kernel flour (HH) can be an alternative and novel ingredient to replace conventional grains such as wheat in the preparation of high consumption foods such as pasta. However, to consider HH as a functional ingredient in the preparation of pasta, it is necessary to determine the proportion of the components of its formulation to obtain dough and pasta with excellent quality attributes. The objective of this work was to evaluate the cooking quality, nutritional, physical and sensory properties of durum wheat semolina pasta (ST) added with HH. Pasta with 0, 20, 30, 30, 40 and 50 % substitution were evaluated based on an estimation scale to obtain cohesive doughs, without the presence of ruptures during the lamination and cutting of fettuccine pasta. Substitution levels of 20 and 30 % were selected for post-paste studies. Pasta with 0, 20 and 30% HH were pre-dried and then cooked to determine their cooking quality at their optimum cooking time (TOC), cooking losses, swelling index, water absorption and cooked pasta weight. In uncooked and cooked pasta, physicochemical (TPA texture profile, color, moisture, ash, fat, fiber, protein, glycemic index and protein digestion) and sensory (consumer acceptance test) properties were evaluated. From the data obtained, the addition of HH (20 and 30 %) in wheat pastas decreased the Optimal Cooking Time (TOC), water absorption and cooked pasta weight. Pastas with HH resulted in good cooking quality since cooking loss and swelling index did not exceed the reference values. Pastas cooked with HH showed a higher content of fats, carbohydrate and a higher caloric intake. Pastas with HH had a brown coloration, with higher protein digestibility and good sensory acceptability (values around 8.0, I like it very much). Thus, HH can be considered as a novel alternative flour for pasta production with up to 30 % substitution without interfering with sensory acceptance.

INTRODUCCIÓN

La creciente atención por llevar un estilo de vida sostenible y saludable, genera un mayor interés en la producción de alimentos fortificados o enriquecidos con subproductos generados en la industria alimentaria y minimizar residuos (Simonato et al., 2019; Bianchi et al., 2021; Lomuscio et al., 2022). Muchas veces, los subproductos son fuente de compuestos saludables que pueden llegar a ser de gran interés, lo que les da valor agregado para utilizarlos como ingredientes alternativos en la formulación de alimentos funcionales (Drabińska et al., 2022; Bianchi et al., 2021). Un importante vehículo alimentario para distribuir ingredientes funcionales son las pastas de sémola de trigo durum (Bianchi et al., 2022; Wang et al., 2022) como un alimento de alto consumo a nivel mundial, buena aceptación sensorial, bajo costo y larga vida útil (Wang et al., 2022). El trigo es una fuente alimentaria con gran relevancia económica y nutricional en varios países (Zingale et al., 2023). En México, el trigo es el segundo cereal más utilizado para la elaboración de alimentos, sin embargo, la producción nacional es insuficiente y la demanda es cubierta con importaciones, esto deja al país dependiente de los precios internacionales del trigo (Valencia-Romero et al., 2023). Con la tendencia de alimentos plant-based hechos con ingredientes vegetales regionales, se busca sustituir a los cereales convencionales como el trigo y evitar su dependencia (Wang y Jian, 2022).

Actualmente, se han obtenido pastas enriquecidas o fortificadas con subproductos de fuentes vegetales que mejoran sus propiedades nutricionales, tales como: hoja de brócoli (Drabińska et al., 2022), trub de cerveza (Lomuscio et al., 2022), orujo de uva (Tolve et al., 2020), piel de cebolla (Michalak-Majewska et al., 2020), residuo de coco (Sykut-Domańska et al., 2020), cáscara de mango (Jalgaonkar et al., 2018), orujo de oliva (Simonato et al., 2019). Las proteínas vegetales son componentes importantes en la estructura de la pasta. Sin embargo, mejorar la digestibilidad de las proteínas de las pastas alimenticias es un factor de interés, ya que es un indicador de la calidad nutricional relacionada con la absorción de los aminoácidos en el organismo (El-Sohaimy et al., 2020; Sá et al., 2019; Laleg et al., 2016).

El fruto de *Melicoccus bijugatus* Jacq, también conocida como huaya o mamoncillo, crecen en agrupaciones, con cáscara gruesa y verde, que contiene una semilla o dos en ocasiones,

cubiertas de pulpa color salmón, con agradable sabor ácido-dulce (López et al., 2021), su producción y consumo es considerado como una importante actividad económica en el sureste de México (Moo-Huchin et al., 2020) así como en países del Centro y Sudamérica, donde también se consume como bebida, en conserva o enlatadas (López et al., 2021). No obstante, las semillas corresponden el 40 % del peso fresco, generando grandes cantidades de residuos en la península de Yucatán, México (Moo-Huchin et al., 2020). El almidón de la almendra de huaya es resistente a la hidrólisis enzimática, pudiendo añadirse en alimentos de digestión lenta para sustituir al trigo como ingrediente no convencional (Moo-Huchin et al., 2020) y valorizar este subproducto en la península de Yucatán. El objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad de cocción, propiedades nutricionales, físicas y sensoriales de una pasta de sémola de trigo duro adicionado con harina de almendras de huaya (*Melicoccus bijugatus* Jacq).

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 *Melicoccus bijugatus* Jacq

Melicoccus bijugatus es un árbol leñoso perteneciente a la familia *Sapindaceae* (Bystrom et al., 2012), nativo de América del Sur, que pudo adaptarse y distribuirse (Figura 1.1) en bosques costeros y secos de América Central y del Norte, el Caribe y partes de los trópicos del Viejo Mundo (López et al., 2021; Wilson et al., 2019). La maduración de los frutos inicia durante el verano (López et al., 2021) y pueden encontrarse fácilmente en varios lugares de la Península de Yucatán como árbol de traspatio (Jiménez-Rojas et al., 2019).

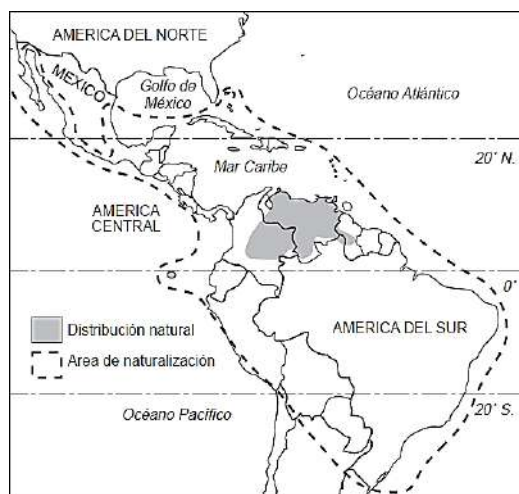


Figura 1.1 Distribuciones naturales y área de naturalización aproximadas de la huaya, *Melicoccus bijugatus* Jacq, en el neotrópico.

Fuente: Francis (2000)

Melicoccus bijugatus crece lentamente y puede alcanzar veinticinco metros de altura, con un diámetro del tronco de 0.5 m (López et al., 2021). Cuando sus plantas crecen a partir de la germinación de una semilla (reproducción por vía sexual) la producción de frutos comienza entre los siete y diez años; por otro lado, si las plantas son propagadas asexualmente, por medio de estacas, acodos, injertos o segmentos de las plantas que conserven la potencialidad de enraizar, la producción de frutos inicia entre los cuatro y cinco años (Martin et al., 1987). La fruta de *Melicoccus bijugatus* Jacq (huaya) es una pequeña drupa globosa, ovoide, que crece en racimos compactos (Moo-Huchin et al., 2020), en donde cada fruto puede llegar a pesar entre 9 a 22 g (Crane y Balerdi, 2016). Generalmente se puede obtener una semilla por fruto, aunque también existe la posibilidad de encontrar

un par de semillas (Wilson et al., 20). El fruto tiene una cáscara verde cubriendo la pulpa de color anaranjado con aspecto gelatinoso (Figura 1.2); la pulpa comestible de frutos maduros, tiene un sabor agradable entre dulce y ácido, además de tener actividad antioxidante (Moo-Huchin et al., 2020; Wilson et al., 2019). Las flores son blancas, pequeñas y fragantes, que se muestran en agrupaciones al final de las ramas y su tiempo de floración comienza entre abril y junio; mientras que la maduración de las frutas inicia de junio a octubre/septiembre (Wilson et al., 2019; Francis, 2000).

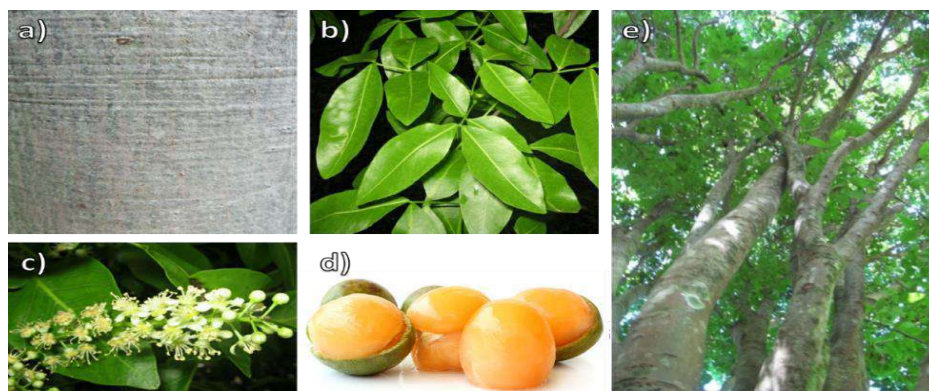


Figura 1.2 *Melicoccus bijugatus* Jacq: a) corteza; b) hojas; c) flores; d) frutos; e) árbol

La huaya es consumida fresca con tan solo retirarle la cáscara, comiéndose principalmente la pulpa y separándola de la semilla (Wilson et al., 2019). En países del Centro y Sudamérica, la fruta es consumida además de fresca, en conserva o enlatadas (López et al., 2021), bebidas, jalea o mermelada (Rojano, 2004).

En México, según datos censados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (1991) de árboles frutales de reducida explotación, *Melicoccus bijugatus* Jacq tuvo 11,449 ha de superficie plantada, superficie en producción de 9,887 ha y producción obtenida de 12,565 ton. Actualmente no existen datos de producción de la fruta de huaya. La producción y el consumo de frutas de huaya son importantes actividades económicas para las zonas rurales del sureste de México, específicamente, la Península de Yucatán (Moo-Huchin et al., 2020). Sin embargo, las cáscaras y semillas son residuos de la fruta, en específico, solamente la semilla representa el 40 % del peso total de esta fruta tropical (Moo-Huchin et al., 2020). La pulpa y el embrión de frutos de *M. bijugatus* tienen valor medicinal y dietético para las personas. El uso de frutos de *M. bijugatus* como alimento indica que la pulpa y el embrión tostado del fruto es relativamente seguro para consumir en cantidades modestas (Bystrom et al., 2012; Bystrom et al., 2008).

1.1.1 Composición química del fruto y el almidón de semilla de *Melicoccus bijugatus* Jacq

De la fruta entera el 38.7 % corresponde a pulpa. cuya composición química es: 83.67 % de humedad, 13.9 °Brix y 1.87 % de acidez. Se ha reportado que la pulpa de huaya tiene alto contenido de fibra dietética y compuestos antioxidantes como la vitamina C, ácidos fenólicos y flavonoides (Moo-Huchin et al., 2020).

Bystrom et al., (2008) han reportado el contenido de compuestos fenólicos encontrados en extractos de tejidos de frutos (pulpa fresca, almendra y cubierta) de *Melicoccus bijugatus* Jacq. El ácido gálico fue encontrado en los extractos (de todos los tejidos de fruta), mientras que el ácido p-cumárico solo fue identificado en muestra de pulpa y cubierta de semillas. En las almendras y cubierta se detectaron formas de catequina (procianidina B1, epigallocatequina, epicatequina y procianidina B2) y, en solamente en la pulpa se identificó naringenina-7-glucósido.

Bystrom et al., (2009) reportaron el contenido de compuestos fenólicos totales en extractos metanólicos (0.25 mg/mL) de pulpa (21.8 ± 0.5), almendras (24.8 ± 0.2) y en cubierta de semillas (183.1 ± 3.6) en mg GAE / g de extracto. De igual forma, evaluaron la actividad antioxidante por el método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo), donde el porcentaje de inhibición en pulpa es de 51.5 ± 1.2 %, en la almendra 59.4 ± 1.4 % y en cubiertas de semillas 94.6 ± 0.1 %.

Moo-Huchin et al., 2014 reportaron el contenido de compuestos bioactivos (Tabla 1.1) de pulpa en base fresca (1g / 20 mL metanol), donde obtuvieron el contenido de compuestos fenólicos totales (295.35 ± 17.54 mg equivalentes de ácido gálico/100 g), flavonoides totales (275.76 ± 8.08 mg de quercetina/100 g), antocianinas totales (0.32 ± 0.01 mg de antocianinas totales/ 100 mg), carotenoides totales (3.85 ± 0.08 mg de β -caroteno/100 g) y vitamina C (44.44 ± 3.89 mg de ácido ascórbico mg / 100 g). La actividad antioxidante obtenida por el ensayo DPPH fue de 322.36 ± 14.40 μ M de equivalentes de trolox/ 100 g, mientras que en ABTS (2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) se reportó 665.38 ± 20.96 μ M equivalente de trolox/ 100 g.

Los compuestos fenólicos específicos o azúcares en frutas de *M. bijugatus* pueden contribuir a sus usos terapéuticos, especialmente para problemas gastrointestinales, y en cierta medida efectos toxicológicos (Bystrom, 2012).

Tabla 1.1 Contenido de compuestos bioactivos en fruta de huaya cultivadas en Yucatán, México (% peso fresco)

Muestra	Fenoles totales (mg de GAE/100 g)	Flavonoides totales (mg de quercetina/100 g)	Antocianinas totales (mg AT/100 g)	Carotenoides totales (mg de β - caroteno/100 g)	mg de vitamina (ácido ascórbico mg / 100 g)
Pulpa fresca	295. 35 $\pm$ 17. 54	275. 76 $\pm$ 8. 08	0. 32 $\pm$ 0. 01	3. 85 $\pm$ 0. 08	44. 44 $\pm$ 3. 89

Los valores se expresan como media $\pm$ desviación estándar (n = 6). GAE: equivalentes de ácido gálico, AT: antocianinas totales

Fuente: Moo-Huchin et al., (2014)

El almidón obtenido del subproducto (almendra) de la fruta de *Melicoccus bijugatus* Jacq, en un trabajo publicado por Moo-Huchin et al., 2020, reportan la composición química proximal del almidón de huaya comparada con su harina cruda (Tabla 1.2).

Tabla 1.2 Composición química proximal de harina cruda y almidón nativo de harina de semilla de huaya (% peso seco)

Muestra	Humedad (%)	Ceniza (%)	Lípidos (%)	Fibra cruda (%)	Proteínas (%)	Extracto libre de nitrógeno (%)
Harina cruda	7. 39 $\pm$ 0. 16 ^a	2. 99 $\pm$ 0. 09 ^b	1. 70 $\pm$ 0. 08 ^b	1. 70 $\pm$ 0. 07 ^b	0. 54 $\pm$ 0. 02	85. 68 $\pm$ 2. 58 ^a
Almidón de huaya	8. 59 $\pm$ 0. 02 ^b	0. 24 $\pm$ 0. 02 ^a	0. 69 $\pm$ 0. 01 ^a	0. 26 $\pm$ 0. 02 ^a	nd	90. 22 $\pm$ 0. 52 ^b

Los valores se expresan como media $\pm$ desviación estándar (n = 3); Los valores dentro de una columna con diferentes superíndices son significativamente diferentes a $P \leq 0.05$; nd: no detectado

Fuente: Moo-Huchin et al., (2020)

En donde el almidón de huaya tiene una cantidad menor ($P \leq 0.05$) de cenizas, lípidos, fibra y proteína cuando se compara con la harina cruda. En el caso del extracto libre de nitrógeno (ELN), el almidón de huaya contiene 90. 22 $\pm$ 0. 52 %, superando a la harina cruda (85. 68 $\pm$ 2. 58 %), sin embargo, ambos tienen mayor porcentaje de ELN en comparación a los demás componentes (Moo-Huchin et al., 2020). El almidón de huaya contiene 39. 13 $\pm$ 0. 35 % de amilosa y 60. 87 $\pm$ 0. 36 % de amilopectina (Moo-Huchin et al., 2020), debido a su baja tendencia a retrogradarse, este almidón podría utilizarse como agente espesante en productos que requieran una alta viscosidad (Moo-Huchin et al., 2020; Fannon et al., 1993).

En la Tabla 1.3, nos muestra que el almidón de huaya contiene un mayor porcentaje de almidón resistente (59.59 ± 0.56 %) que almidón de digestión rápida y lenta con 17.96 ± 1.80 % y 21.24 ± 1.05 % respectivamente (Moo-Huchin et al., 2020).

Tabla 1.3 Características químicas del almidón de huaya

Almidón total (% dw)	RDS (%)	SDS (%)	RS (%)	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
98.01 ± 0.50	17.96 ± 1.80	21.24 ± 1.05	59.59 ± 0.56	39.13 ± 0.35	60.87 ± 0.36
Los valores son expresados como media $\pm$ desviación estándar (n = 3). RDS (almidón de digestión rápida), SDS (almidón de digestión lenta) y RS (almidón resistente); dw: peso seco					

Fuente: Moo-Huchin et al., (2020)

El almidón de huaya es ligeramente susceptible a la hidrólisis enzimática (Figura 1.3), su tasa de hidrólisis aumenta con el tiempo con un porcentaje final de 46.00 ± 1.81 %. La resistencia a la hidrólisis enzimática es característica de interés que apoya la posibilidad de utilizar la harina de almendra de huaya como un ingrediente alternativo, que serviría en el desarrollo de alimentos de digestión lenta (como pastas alimenticias) y sustituir granos convencionales como el trigo (Moo-Huchin et al., 2020).

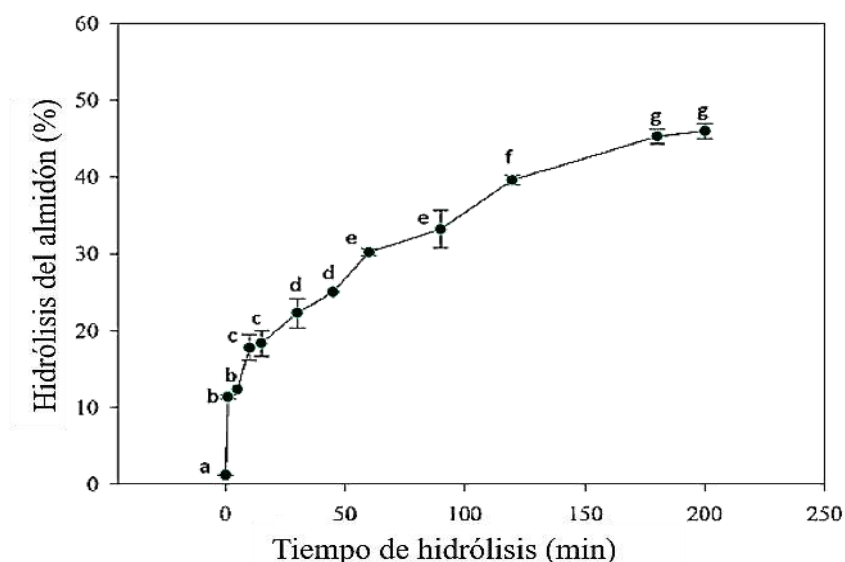


Figura 1.3 Hidrólisis *in vitro* de almidón nativo de huaya

Fuente: Moo-Huchin et al., (2020)

1.2 Sustitución del trigo en la elaboración de pastas alimenticias

El trigo es una planta no perenne que pertenece a la familia de las gramíneas, produce una serie de frutos modificados fusionados en una sola espiga terminal (Estrella et al., 2022).

El grano de trigo es un fruto seco o cariósipide indehisciente de tipo aquenio, cuyo pericarpio se encuentra casi totalmente adherido a la cubierta de la semilla. La molienda de estos granos deriva ingredientes (harina, sémola, etc.) que son utilizados para la elaboración de alimentos (Jeantet et al., 2010). La producción de granos de trigo se divide principalmente en: trigo blando o harinero (*Triticum aestivum*) y, trigo duro o cristalino (*Triticum durum*) (Figura 1.4) (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2017).

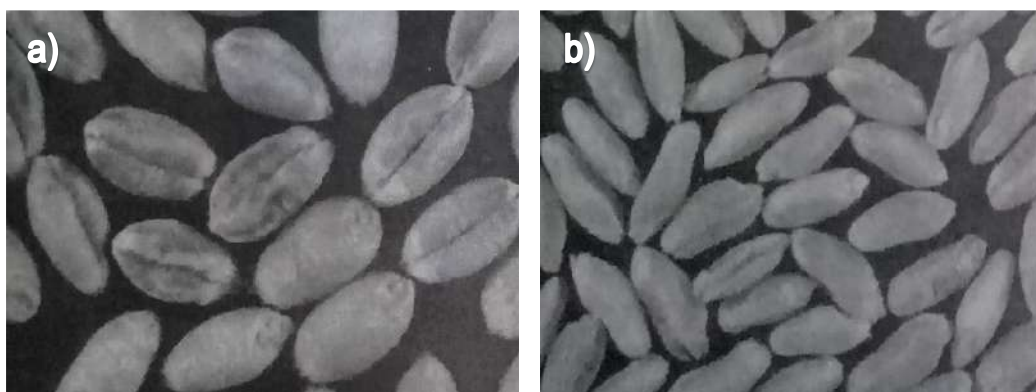


Figura 1.4 Aspecto de granos de trigo: a) *Triticum aestivum*; b) *Triticum durum*

Fuente: Jeantet et al., (2010).

Cada grano de trigo tiene características físicas particulares (Tabla 1.4) que determinan su uso en la elaboración de diferentes productos alimenticios (Jeantet et al., 2010). El endospermo del trigo blando es relativamente más fácil de romper, volviéndolo más adecuado para producir harinas que son utilizados para elaborar productos de panadería, repostería, salsas, etc. Mientras que el endospermo del trigo duro es más resistente durante la molienda, siendo más útil en la obtención de sémolas que se emplearan principalmente para producción de pastas alimenticias (Jeantet et al., 2010; SAGARPA, 2017).

Tabla 1.4 Características físicas de granos de trigo duro y blando

Características	Trigo duro (<i>Triticum durum</i>)	Trigo blando (<i>Triticum aestivum</i>)
Peso específico (kg · hL ⁻¹)	75 - 85 (a menudo > 80)	70 – 80
Masa de mil granos (g)	25 – 60	35 – 50
Longitud (mm)	6 – 9	5 – 8
Anchura (mm)	2.5 – 4	3 – 4
Espesor (mm)	2.2 – 3.2	2.5 – 3.5
Endospermo	Vítreo, resistente al aplastamiento	Harinoso, vítreo, poco resistente al aplastamiento
Aspecto de granos	Alargado, surco abierto, envoltura blanca y ambarina; espigas con barbas	Forma redonda y poco alargada, surco cerrado, envoltura rojiza, espigas con pocas barbas

Fuente: Jeantet et al., (2010).

No obstante, ambas especies tienen poseen proteínas (gliadina y glutenina) que permiten la formación de gluten cuando la harina o sémola son hidratadas, el gluten es responsable de proporcionar que una mejor textura a las masas para pan o pastas (Jeantet et al., 2010).

La pasta es considerada como un alimento de fácil producción, transporte y almacenaje además ser muy versátil y de costo accesible, convirtiéndolo en un alimento diario y popular en muchas partes del mundo (Ainsa et al., 2022) (Ainsa et al., 2022; Irie et al., 2018) cuyo consumo permite la sensación de saciedad y tiene efectos positivos sobre la salud humana al ser un vehículo para la ingesta de biomoléculas (Pagliaro, 2019).

Entre las referencias más antiguas que se han encontrado acerca del origen de las pastas, reportan su procedencia en el año 4000 A. C. en el noroeste de China, en la ribera del río Amarillo, tras descubrir un bol enterrado en barro, que contenía unos fideos delgados y amarillos, con espesor de tres milímetros y longitud de cincuenta centímetros, elaborados a base de mijo, siendo considerados como antecesores de las pastas actuales de zona de La-Mian (Yubero, 2017).

Algunas definiciones de “pasta alimenticia” son:

Descrito por la NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, una pasta alimenticia es definida como “producto obtenido por el amasado mecánico de sémola, semolinas, harinas

o cualquier combinación de éstas procedentes de trigos con agua y otros ingredientes opcionales permitidos, moldeado, laminado o extruido y sometido o no a un proceso térmico de desecación”. El Código Alimentario Español se refiere a las pastas alimenticias como los productos obtenidos por desecación de una masa no fermentada, elaborada con sémolas, semolinas o harinas procedentes de trigo duro, semiduro, blando o sus mezclas, y agua potable (Armendáriz-Sanz, 2020).

En 2019, se produjeron casi 16 millones de toneladas de pasta en el mundo, más del doble comparándolo con los 7 millones de toneladas producidas hace 20 años. Siendo Italia el principal productor con 3.5 millones de ton (International Pasta Organization, 2020). En la Tabla 1.5 se incluyen las cifras de producción de pasta seca para el comercio minorista, los servicios alimentarios y el uso industrial (pasta seca utilizada como insumo en productos de valor agregado, como sopas, alimentos congelados preparados, cenas de pasta en caja, etc., proporcionados por UNAFPA (2020).

Tabla 1.5 Estimación de la producción mundial de pasta

País	Ton	País	Ton
Italia	3,505,649	Canadá	136,000
EE. UU.	2,000,000	Colombia	118,647
Turquía	1,780,857	India	100,000
Egipto	1,200,000	Sudáfrica	91,000
Brasil	1,108,000	Bélgica	77,500
Rusia	1,075,404	Portugal	76,000
Nigeria	700,000	República Checa	70,000
Irán	560,000	Hungría	66,000
Argentina	407,336	Guatemala	59,524
México	380,000	Ecuador	56,263
Túnez	345,000	Austria	54,778
Perú	340,969	Rumania	52,600
Alemania	334,390	Australia	50,000
Venezuela	329,948	Suiza	43,140
Francia	235,981	Reino Unido	35,000
Chile	195,811	Costa Rica	26,042
España	192,517	Países Bajos	23,335
Grecia	172,000	República Eslovaca	22,000
Polonia	160,000	Suecia	20,200
Japón	144,500	Otros	182,635

Fuente: Encuesta realizada por IPO y UNAFPA.

Basado en el reporte anual de IPO (2019) los cinco países que más consumieron pastas en el mundo por kilogramos por cápita por año, son: Italia (23,1 kg), Tunes (17 kg), Venezuela (12 kg), Grecia (11,4 kg) y Chile (9,5 kg), tal como se muestra en la tabla 1.6.

Tabla 1.6 Estimación del consumo mundial de pasta

País	Kg/cápita/año	País	Ton
Italia	23.1	Lituana	4.4
Tunes	17.0	Eslovenia	4.3
Venezuela	12.0	Polonia	4.2
Grecia	11.4	Letonia	4.1
Chile	9.5	República Dominicana	4.0
Perú	9.3	Australia	4.0
Estados Unidos	8.8	Israel	4.0
Argentina	8.6	Panamá	3.8
Irán	8.5	Costa Rica	3.7
Francia	8.3	España	3.6
Alemania	7.9	Nigeria	3.5
Hungría	7.5	Ecuador	3.5
Uruguay	7.5	Reino Unido	3.5
Turquía	7.2	Guatemala	3.2
Rusia	7.2	Dinamarca	3.2
Egipto	7.1	Finlandia	3.2
Portugal	6.8	México	3.0
República Checa	6.4	Croacia	2.8
Canadá	6.3	Países Bajos	2.8
Estonia	5.3	Colombia	2.7
Suiza	5.2	Rumania	2.7
Bélgica	5.0	Noruega	2.7
República Eslovaca	5.0	Libia	2.0
Suecia	4.9	Sudáfrica	1.9
Bolivia	4.8	Japón	1.7
Austria	4.8	Irlanda	1.0
Brasil	4.8	El Salvador	1.0

Fuente: Encuesta realizada por IPO y UNAFPA.

Las pastas pueden ser clasificadas como:

Pastas alimenticias simples, que son elaboradas con sémolas, semolinas o harinas procedentes de trigo duro, semiduro, blando o sus mezclas. Cuando sean hechas exclusivamente con sémola o semolinas de trigo duro son clasificadas como calidad superior (mayor porcentaje de proteína, 11% mínimo) o calidad corriente (menor porcentaje de proteína, 9.5 % mínimo) (Armendáriz-Sanz 2020).

Pastas alimenticias compuestas. Tiene incorporado durante en el proceso de elaboración alguna o varios ingredientes, como: soja, huevo (enteros o yemas), leche (natural o en polvo desnatada), hortalizas, verduras y leguminosas (naturales, desecadas o conservadas) (Suarez-Espinel, 2015).

Pastas alimenticias rellenas. Hechas exclusivamente con sémola de trigo duro, pueden ser pastas simples o compuestas, con formas diversas (raviolis, empanadillas, cilindros, sándwich, etc.), que pueden contener en su interior carne de animales (Jeantet et al., 2010), verduras, hortalizas, huevos, agentes aromáticos autorizados, etc. La cantidad mínima de peso del relleno es como mínimo, el 25 % referido al peso total del producto (Armendáriz-Sanz, 2020).

Pastas alimenticias frescas. Cualquiera de las anteriores, pero sin haber sufrido el proceso de desecación. Usualmente son pastas elaboradas de forma artesanal y manual para su cocción inmediata (Jeantet et al., 2010).

Otra forma de clasificación es según el proceso de conservación: secado, refrigeración, congelación, pasterización, empaquetamiento al vacío, en atmosferas modificadas o combinación de estos métodos (Gil, 2010).

Según Armendáriz-Sanz (2020), también se pueden encontrar pastas con cientos de formas y tamaños diferentes (Figura 1.5), pudiendo ser clasificadas de la siguiente manera:

- ❖ *Rocadas*. Fabricadas por la extrusión a través de hileras o laminación, las tiras se representan enrolladas en madejas con sección circular (fideos) o rectangular (tallarines o cintas).

- ❖ *Largas*. Obtenidas por extrusión y secadas en tiras rectas sueltas y con un mínimo de 200 mm de longitud y se presentan en sección circular (espaguetis), rectangular (tallarines o cintas) o en forma anular (macarrones).
- ❖ *Cortas*. Obtenidas por extrusión a través de un molde y cortadas en distintos formatos de longitud inferior a 100 mm (fideos, conchitas, fideuá, etc.).
- ❖ *Laminadas*. Obtenidas por laminado y troquelado posterior con distintas formas y dibujos (lasañas, canelones, lazos, etc.).

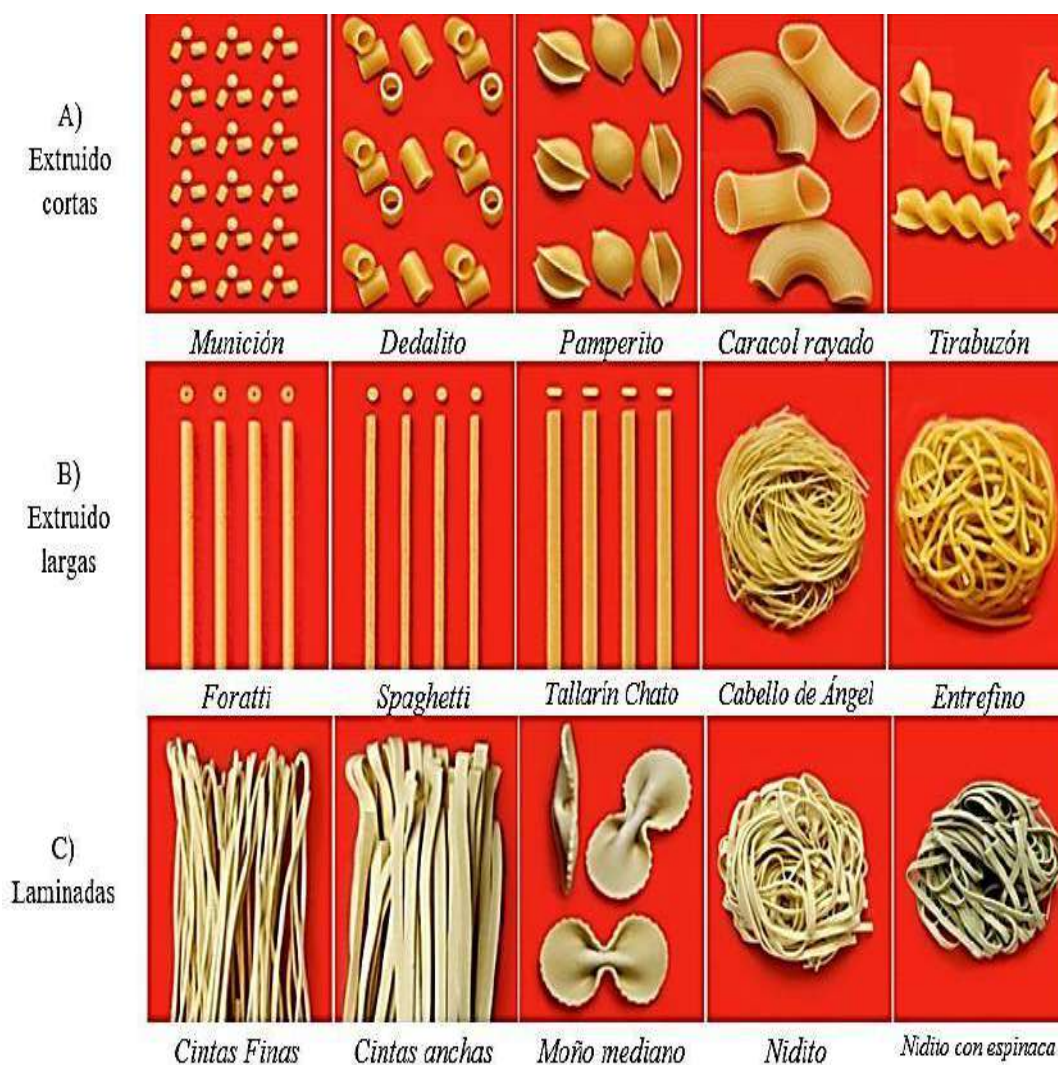


Figura 1.5 Clasificación de pastas por forma y tamaño

Fuente: Martínez (2010).

1.2.1 Estructuración de las pastas alimenticias

Para elaborar las pastas es necesario asegurar la formación de su masa, para ello, se debe obtener una masa fácil de amasar, moldear, cortar y secar (Jeantet et al., 2010)., la cantidad de agua utilizada para preparar la masa debe ser la menor posible, esto limita el agua que se evapora en el secado. Se necesita mucho esfuerzo para distribuir uniformemente una pequeña cantidad de agua y evitar la formación parcial de gluten, para ello se recurre a un mezclador, como primera etapa del proceso de elaboración de pastas (Jeantet et al., 2010). Aunque las formulaciones de las pastas puedan llegar ser diferentes, el proceso de elaboración es similar (Martínez, 2010).

Mezclado y amasado. Al inicio, se mezcla agua con la sémola de trigo, para promover la hidratación homogénea (entre 29 % y 32 %) en todas las partículas de la harina o sémola, el amasado promueve la interacción del almidón con las proteínas, obteniendo un conjunto de propiedades y enlaces cruzados que definen la funcionalidad del gluten y forman la masa, un contenido más bajo o alto de agua puede dificultar el laminado o extrusión (Lezcano, 2019; Bustos et al., 2015; Icard-Vernière y Feillet, 1999). La cantidad de gránulos dañados de almidón tienen una mejor capacidad de absorción y compite contra el gluten por la limitada cantidad de agua, una mayor cantidad de estos gránulos aumenta el tiempo de amasado (Martínez, 2010).

Extrusión o laminado. Tras el mezclado y dependiendo del tipo de pasta, la masa pasa por el proceso de extrusión o laminado de la masa (Figura 1.6). En la extrusión, la masa se mezcla y amasa atravesando un troquel a una presión muy alta, para darle la forma final de la pasta (Le Roux et al., 1995). La extrusión debe ser controlada, la falta de trabajo o un exceso de energía térmica que se le da a la masa podría resultar en una matriz proteica no desarrollada o dañada por sobrecalentamiento (Le Roux et al., 1995). Para el laminado, la masa se amasa y enrolla en una lámina por compresión entre una serie de pares de cilindros giratorios, la lámina se pliega varias veces sin excederse, para favorecer el entrecruzamiento de la proteína y desarrollar el gluten sin dañar la matriz proteica, para al final cortarla en tiras del ancho y largo deseado (Kim et al., 2008).

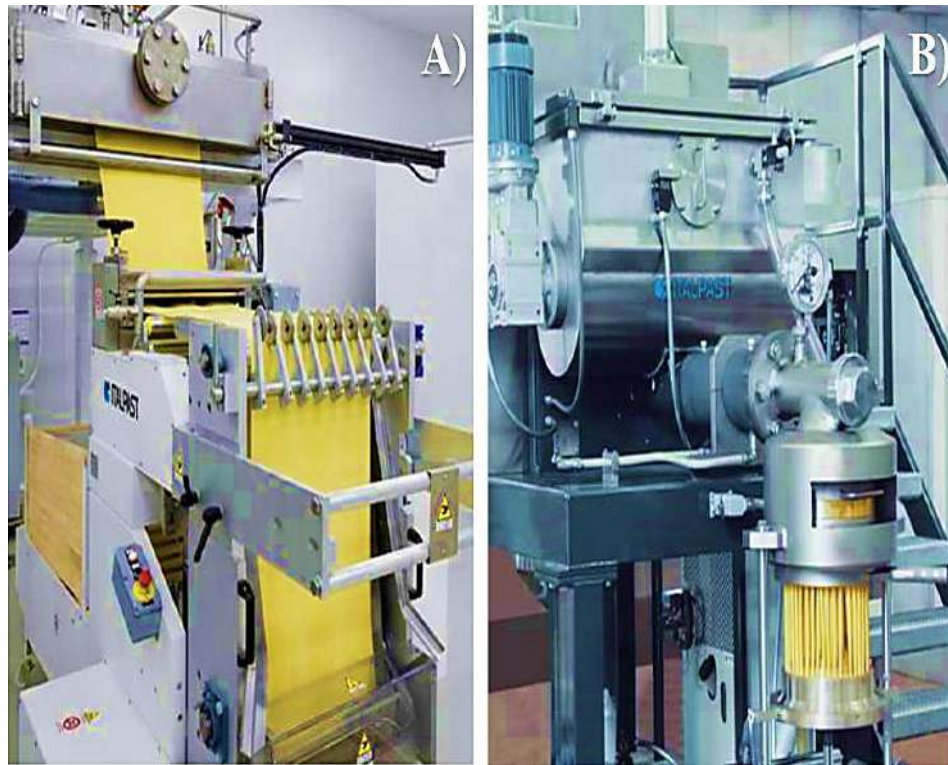


Figura 1.6 Máquinas de producción de pastas: A) Laminadora de masa y B) Extrusora

Fuente: Pasta soluciones SRL, (s. f.)

Secado. Esta parte del proceso es importante para obtener productos de alta calidad, después la extrusión o laminación, la pasta fresca tiene un aproximadamente de 30 % de humedad, por lo que deberá secarse hasta obtener 12.5 % (Bustos et al., 2015), aquí la temperatura, el flujo de aire y la humedad se regulan con precisión a medida que la pasta pasa por varios secadores. En plantas industriales, primero es secada a baja temperatura entre 40 – 50 °C, para después secarla de nuevamente, pero a temperaturas más altas de entre 60 – 90 °C (De Noni y Pagani, 2010).

1.2.2 Propiedades nutricionales de una pasta alimenticia de trigo duro

El valor energético de la pasta alimenticia simple es de aproximadamente 350 kcal/100 g, contiene bajas cantidades de grasa (entre 1 - 2 %) (Laboratorio Profeco, 2017; Granito et al., 2014), es rico en hidratos de carbono complejos como lo es almidón que oscilan entre 74 y 77 %, mientras sus proteínas abarcan entre 10 a 15 %, principalmente del gluten (gliadina y glutenina), ya que esta le proporciona su peculiar elasticidad (Laboratorio Profeco, 2017; Shewry, 2007), sin embargo, debido a su deficiencia en lisina (aminoácido esencial) su calidad de proteína es baja (Shewry, 2007). En las pastas más consumidas, el aporte de minerales (calcio y hierro) y vitaminas B es escaso, mantiene cantidades aceptables de niacina y ácido fólico, aunque al estar ligadas no son absorbibles, por lo que se consideran de baja disponibilidad, el contenido de vitamina B12, C y liposolubles es nulo (Verdú, 2013). Sin embargo, es considerado un alimento de bajo índice glicémico, debido a los cambios sucesivos en la estructura y a las interacciones entre el almidón y el gluten (Bustos et al., 2015).

El aporte de nutrientes está relacionado con la variedad de trigo, las condiciones de cultivo y el grado de extracción, por ejemplo, su elaboración con harina de trigo refinada provoca que un contenido bajo de fibra y micronutrientes (vitaminas y minerales) a comparación de la pasta integral (Di Pede et al., 2021). Por otra parte, si son pastas compuestas, su valor nutricional se verá incrementando en función del alimento o nutriente que se adicione (huevos, leche, legumbres, etc.), por lo que se consideraría que este tipo de pastas presentan mayor valor nutritivo si se comparan con las pastas simples (Verdú, 2013).

En la actualidad, debido a la creciente demanda de alimentos saludables ricos en compuestos bioactivos (Bianchi et al., 2021) genera el interés de desarrollar alimentos que no solamente estén enfocados en satisfacer el impulso de saciar el hambre, sino también promover la salud humana (Carpentieri et al., 2022; Dias et al., 2015) es por ello, que la industria alimentaria busca reducir la incorporación de aditivos artificiales y desarrollar productos que contengan ingredientes funcionales que superen las limitaciones que aparecen durante el procesamiento convencional de los alimentos (Carpentieri et al., 2022; Faustino et al., 2019).

La fortificación de alimentos es la práctica de incrementar deliberadamente el contenido de un micronutriente esencial, es decir, vitaminas y minerales en un alimento, de manera que mejore la calidad nutricional del suministro alimentario y proporcione un beneficio de salud pública con un riesgo mínimo para la salud (Allen et al., 2017).

El Codex Alimentarius define la fortificación o el enriquecimiento de alimentos como “la adición de micronutrientes a los alimentos”, ya sea que se encuentren o no contenidos normalmente en una matriz alimentaria, esto con la finalidad de prevenir o corregir una deficiencia que ha sido demostrada con anterioridad (Dary et al., 2013).

Sin embargo, aunque fortificación y enriquecimiento puede ser una definición similar, en realidad son diferentes desde el punto de vista de tecnología de alimentos. Mientras que la fortificación se usa para “la adición de micronutrientes a un alimento que no contiene esos compuestos de forma natural”, el enriquecimiento solo se aplica en caso de que el contenido natural de algunos micronutrientes normalmente disponibles en el alimento es intencionalmente aumentado (Dary et al., 2013). Además, la fortificación de alimentos también puede ser aplicada cuando se necesita que los nutrientes que se pierden durante la manipulación, procesamiento o almacenamiento deban ser restaurado o para “mantener la equivalencia nutricional de los alimentos sustitutos” (Mannar y Khan, 2016).

Los alimentos elaborados con cereales que son buenos tanto en calidad como en nutrición son cada vez más populares, por ejemplo: la pasta al ser un alimento popular y consumido mundialmente es un excelente vehículo para llevar nutrientes (Wang *et al.*, 2022; Bianchi *et al.*, 2021). Sin embargo, la pasta tradicional suele ser bastante pobre en compuestos fisiológicos activos (Simonato et al., 2019).

La incorporación de ingredientes de origen animal (carne, pescado, huevo y harina de insectos) pueden mejorar la calidad de proteína, así como aumentar el contenido grasas y minerales de las pastas de sémola de trigo (Çabuk y Yılmaz, 2020; Desai et al., 2019; Desai et al., 2018; Liu et al., 2016). No obstante, a partir de la pandemia Covid-19 hubo un aumento en la tendencia de alimentos a base de plantas (plant-based) donde los consumidores buscan mejorar su sistema inmunológico, a través de hábitos saludables de alimentación y un estilo de vida amigable con el medio ambiente (The Food Tech, 2021). Se sabe que en comparación con las personas que siguen una dieta rica en productos de origen animal,

quienes siguen una dieta vegetariana tienden a consumir más alimentos y nutrientes recomendados para la prevención de enfermedades crónicas (Fehér et al., 2020; Parker y Vadiveloo, 2019). Mientras que desde una perspectiva ambiental, los alimentos de origen vegetal suelen tener menor impacto en el medio ambiente que los alimentos derivados de animales (Reinhardt et al., 2020).

Debido a la exigencia de los consumidores con su alimentación, la industria es forzada a la innovación de alimentos plant-based, en Latinoamérica se exige más ingredientes prebióticos como fibras, que también sean de digestión lenta y bajo índice glicémico (Juárez, 2022; The Food Tech, 2021).

Por ello, con el fin de mejorar el perfil nutricional de alimentos como las pastas, se han incluido varios componentes vegetales funcionales con posibles beneficios positivos, tales como el aumento de compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante, proteínas, minerales, grasas y fibra dietética, como también disminuir el índice glicémico (Bianchi et al., 2022).

Existen diversos estudios de fortificación de pastas con ingredientes alternativos y funcionales (Tabla 1.7) que agregan ingredientes derivados de subproductos vegetales (cáscara, salvado, semilla, tallo, hojas y los residuos de la cáscara) con alto valor agregado como fuentes de fibra y otros bioactivos saludables (Simonato et al., 2021) que mejoran su valor nutricional y, en consecuencia, ser beneficioso para la salud del consumidor (Bianchi et al., 2021). Por ejemplo, en estudios reportados donde se sustituye la sémola de trigo con ingredientes como: la cáscara de sandía (Ho y Che, 2016), la piel de cebolla (Michalak-Majewska et al., 2020) o residuos de coco (Sykut-Domanska et al., 2020), se observa un aumento del contenido fibra dietética.

Tabla 1.7 Formulación y efectos de pastas fortificadas con diferentes ingredientes

Ingredientes	Formulación	Efectos	Referencia
Moringa	0, 5, 15, 10 %	↓Tiempo de cocción, índice de hinchamiento ↑Pérdida por cocción ↓Firmeza ↑Compuestos fenólicos totales No tiene buena apariencia, textura y sabor	Simonato et al., (2021)
Harina de coco (HC) y residuo de coco (HRC)	5, 10, 15, 20, 25 %	↑Tiempo de cocción, pérdida por cocción ↓ Firmeza (HC) y ↑ Firmeza (HRC) ↑Proteína, lípidos y fibra dietética ↓Carbohidratos disponibles La pasta HC fue más aceptado en general en comparación con la pasta HRC	Sykut-Domanska et al., (2020)
Cáscara de mango	5, 10, 15 %	↓ Tiempo de cocción ↑ Pérdida por cocción ↓Textura dura ↑Calcio, ácido ascórbico, actividad antioxidante No tiene buena apariencia, textura y sabor	Jalgaonkar et al., (2018)
Okara de soya	10, 20, 30, 40, 50 %	↓ Tiempo de cocción ↑ Pérdida por cocción, textura dura ↓Cohesividad ↑Proteína, lípidos y fibra dietética Índice glicémico significativamente menor que el control No tiene buena apariencia, textura y sabor	Kamble et al., (2019)
Extracto de cladidos (pencas de nopal)	10, 20 y 30 %	= Tiempo de cocción ↓ Índice de hinchamiento ↑ Pérdida por cocción ↓Textura dura Ligero regusto amargo, el olor no cambió La digestión del almidón disminuye conforme el porcentaje de sustitución aumenta.	Attanzio et al., (2019)
Piel de cebolla	2.5, 5, 7.5 %	↓Tiempo de cocción, índice de hinchamiento ↑ Pérdida por cocción ↑ Fibra dietética, compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y actividad antioxidante. Bajo puntaje sensorial	Michalak-Majewska et al., (2020)
Cáscara de sandía	5, 10, 15 %	↓ Pérdida por cocción ↓ Firmeza y adhesividad ↓Proteína ↑Grasas, fibra dietética y compuestos fenólicos totales	Ho y Che, (2016)

Fuente: Bianchi et al., (2021)

Los alimentos enriquecidos con fibra dietética en particular conducen con frecuencia a productos más saludables dada su capacidad para reducir los niveles de azúcar y colesterol en la sangre, normalizar las deposiciones, mejorar la fermentación del colon, lo que promueve la salud del colon y aumenta la sensación de saciedad (Simonato et al., 2019; Foschia et al., 2013).

Sin embargo, existen ciertas limitaciones que podrían afectar la incorporación de harinas no convencionales en la formulación de la pasta puede tener consecuencias como cambiar el color, así como las características físicas y de textura de la pasta (Rachman et al., 2020; Desai et al., 2018). De igual forma pueden verse afectado sus propiedades de cocción, tales como: tiempo óptimo de cocción, la pérdida por cocción, el índice de absorción de agua y el índice de hinchamiento (Nilusha et al., 2019). Es por ello, que es crucial determinar estas cualidades tecnológicas para determinar la calidad de las pastas, y al evaluar la tecnología de la pasta (Bustos et al., 2015).

Ciertamente los cereales (trigo, sorgo, arroz, avena, etc.) son parte de la pirámide alimenticia y sin lugar a duda representan valiosos ingredientes para muchos alimentos, pero el trigo es el cereal más consumido mundialmente (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2023).

Actualmente el primer cereal más importante para la cultura mexicana es el maíz y el segundo es el trigo (SIAP, 2023). Sin embargo, México tiene un déficit de producción de trigo blando, lo que conlleva a la compra de este tipo de grano para complacer las necesidades de la industria de panificación (SADER, 2022), provocando que el país sea dependiente del mercado internacional (Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas opera en México, 2023). Alrededor del 66 % de la demanda de la población son importadas, México gastó 659,252,000 dólares en importaciones de trigo entre enero-abril de 2022, un 28.5 % más que los 512,696,000 dólares gastados durante el mismo período en 2021 (Monreal-Ávila et al., 2023). Con el aumento del precio del trigo en 2022 debido a diversos factores como: los conflictos armados en Europa, el impacto global de la crisis sanitaria COVID-19, así como los fenómenos meteorológicos, mantienen la incertidumbre en los mercados de los cereales y dejan susceptible al país (Monreal-Ávila et al., 2023).

Por lo cual, sería importante investigar nuevos materiales alternativos que puedan formar alimentos que usualmente son preparados con cereales y evitar la dependencia hacia el trigo.

1.2.3 Calidad y digestibilidad de pastas

Para definir la calidad de la pasta, en general, la formación de la red de proteínas de gluten coaguladas debe ser continua, atrapando los gránulos de almidón, limitando su hinchamiento y lixiviación en el agua de cocción, produciendo una pasta con baja pérdida por cocción, absorción de agua e índice de hinchamiento, con alta firmeza, pero baja adhesividad (Bustos et al., 2015). Los atributos más importantes de la pasta son:

El *Tiempo Óptimo de Cocción* (OCT), al cocinar la pasta se pueden ver dos zonas distintas, un área hinchada en la superficie y el núcleo central no penetrado, esta discontinuidad avanza hacia el centro de la muestra y desaparece cuando alcanza la pasta está cocida (Heneen y Brismar, 2003).

Pérdidas por cocción (CL), es una métrica que se usa con frecuencia para pronosticar el rendimiento de cocción de la pasta, refiriéndose a los sólidos que se difunden desde la estructura de la pasta hasta el agua de cocción; un valor del 8 % se considera como el límite superior para una calidad satisfactoria (Bianchi et al., 2021). La cantidad de agua absorbida por la pasta cocida a un tiempo de cocción óptimo está asociada con el hinchamiento y gelatinización del almidón (Tudorica et al., 2002).

El *índice de hinchamiento*, o gramos de agua absorbidos por gramo de pasta seca, es un indicador útil de la integridad de la matriz proteica, que limita la penetración del agua (la pasta cocida se seca a peso constante para calcular este índice (Tudorica et al., 2002). Los gránulos podrán absorber más agua y gelatinizarse como resultado de una red de gluten alterada, lo que dará como resultado un aumento en el peso de la pasta cocida y el índice de hinchazón (Del Nobile et al., 2005; Hatcher et al., 1999). La calidad aceptable de la pasta está determinada por la absorción de 150 – 200 g de agua por 100 g de pasta y un índice de hinchamiento de aproximadamente 1.8, los cuales se miden sin tener en cuenta los ingredientes adicionales que contenga la pasta que podrían cambiar cualquiera de estos parámetros o la microestructura de la pasta (Bustos et al., 2015).

En gran medida, la textura de la pasta define la aceptabilidad de la pasta (Bustos et al., 2015), la técnica más popular es perfilar la muestra cocida usando un texturómetro (Figura

1.7), simulando el movimiento de la masticación al comprimir hebras de pasta, regresar al sitio de contacto inicial y repetir el ciclo completo una segunda vez (Ainsa et al., 2022).

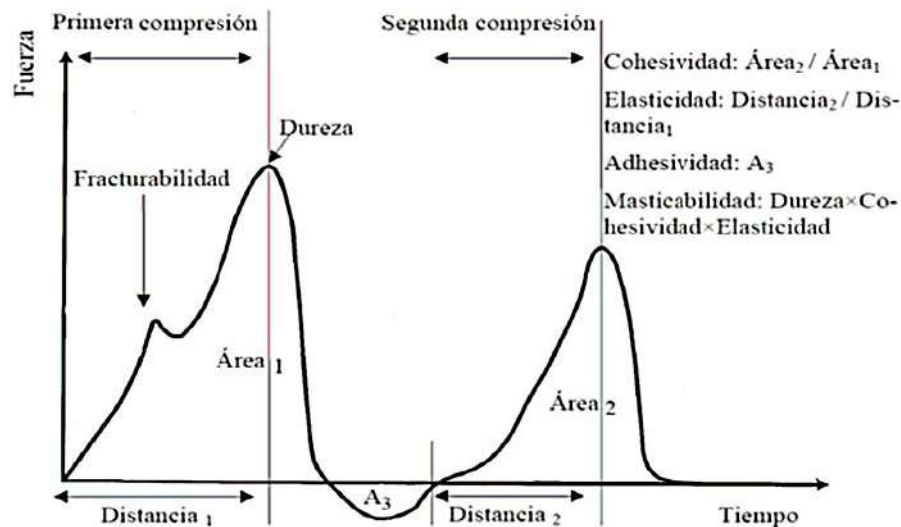


Figura 1.7 Gráfica de perfil de textura (TPA)

Fuente: Hleap y Velasco (2010)

La *firmeza* de la pasta, que está estrechamente relacionada con la fuerza de la matriz proteica, se define como la fuerza máxima alcanzada en la compresión inicial (Martinez, 2007). Por otra parte, la *cohesión* representa la fuerza con la que se une las partículas y es el límite de un alimento para deformarse antes de romperse (Hleap y Velasco, 2010). En la gráfica de TPA, es la relación entre el área bajo el primer y segundo pico, lo que significa incluir el trabajo de compresión y excluir el trabajo de descompresión (Bourne, 1978).

La *elasticidad* es la velocidad a la que la muestra deformada vuelve a su condición original después de retirar la fuerza deformante, se calcula como la relación entre la primera mitad del segundo pico y la distancia de la primera mitad del primer pico (Bustos et al., 2015).

La *masticabilidad*, se describe como el resultado de la dureza, la cohesión y la elasticidad (Bourne, 1978), está relacionada con la elasticidad de la matriz proteica y disminuye con el tiempo de cocción como resultado del ablandamiento de la estructura y pérdida del almidón en el agua de cocción (Cunin et al., 1995).

La *adhesividad* es otra característica importante de la textura, también suele determinar la aceptabilidad del producto. La cantidad de amilosa que se filtra en el agua de cocción se correlaciona con la adhesividad (evaluado como el trabajo negativo entre los dos ciclos de compresión), una gran cantidad de amilosa lixiviada significa que hay un alto grado de amilopectina en la superficie de la pasta (Bustos et al., 2015),

Un factor importante que sirve determinar la calidad de un alimento es la digestibilidad de carbohidratos y proteínas, ya que puede influenciar la biodisponibilidad (Gil et al., 2015). La digestibilidad se refiere a una serie de transformaciones químicas y físicas simultáneas que los alimentos sufren mientras recorren el tracto intestinal (Figura 1.8), descomponiéndose en unidades ricas en energía y liberando nutrientes de su matriz, con la finalidad de ser absorbidos y aprovechados en el funcionamiento vital de nuestro cuerpo (Drechsler y Bornhorst, 2018).

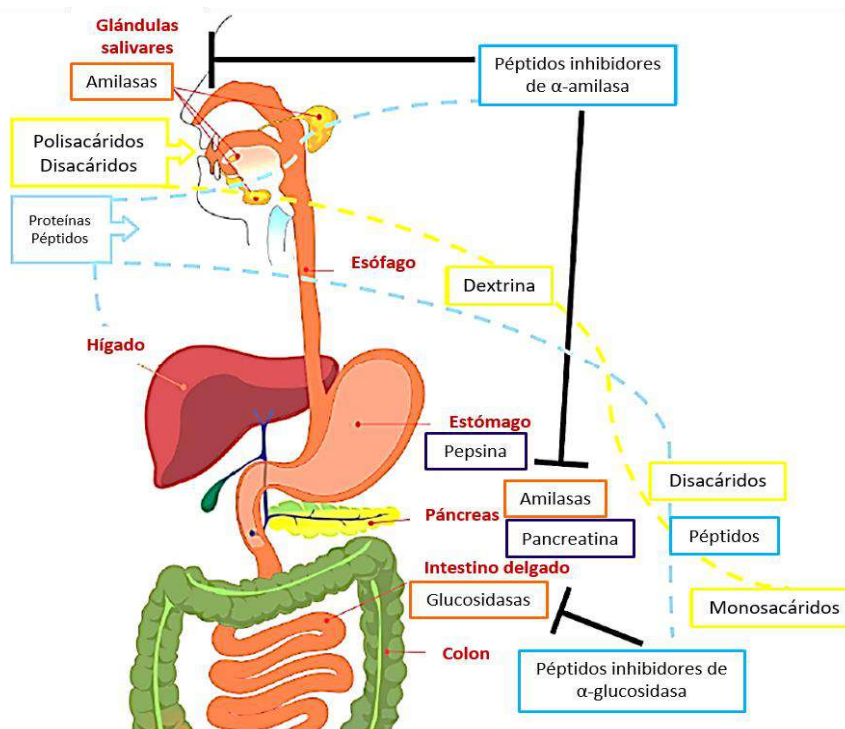


Figura 1.8 Digestión de carbohidratos y proteínas

Fuente: Rivero-Pino et al., (2020)

En el caso de la *digestión los carbohidratos*, estos son digeridos en el tracto gastrointestinal catalizados por enzimas α -amilasas (salivales y pancreáticas) y α -glucosidasas para producir monosacáridos que serán absorbidos (Sun et al., 2022; Barber et al., 2022). Los alimentos ricos en almidón son la principal fuente de calorías en la dieta (Samarakoon, 2020; Moore et al., 2015; Zhang y Hamaker, 2009) siendo los niveles altos de glucosa absorbidos al torrente sanguíneo un factor relevante para el desarrollo de enfermedades como la diabetes, hiperglucemia, obesidad, etc. (Ritudomphol y Luangsakul, 2019).

Las propiedades nutricionales del almidón están relacionadas con la velocidad de digestión y absorción en el intestino delgado (Zhang et al., 2020). De tal forma que pueden clasificarse como: almidón de digestión rápida (ADR), almidón de digestión lenta (ADL) y almidón resistente (AR) (Zhang et al., 2020; Englyst et al., 1992). El proceso de digestión del almidón se puede cuantificar parcialmente por la tasa de pérdida de almidón, la tasa de aparición de glucosa y la tasa de aparición de varios oligosacáridos (Sun et al., 2022; Dona et al., 2010).

De igual forma, el concepto de índice glicémico (IG) introducido por Jenkins et al., (1981) se usa para clasificar alimentos en base a cómo afecta el nivel de glucosa postprandial en sangre (Singh et al., 2021). En el informe de la FAO/OMS acerca de carbohidratos, ofrece el concepto IG para la selección de alimentos con carbohidratos más adecuados para el mantenimiento de la salud, así como la prevención y tratamiento de enfermedades (Thiranusornkij et al., 2019; World Health Organization, 1998). Cuando el IG es bajo (≤ 55) o IG medio (56 - 69), se sabe que la glucosa se absorbe lentamente, por lo que el aumento del azúcar en la sangre es bajo y moderado, mientras que en un IG alto (≥ 70) estos se digieren y absorben rápidamente en el intestino (Atkinson et al., 2021; Thiranusornkij et al., 2019; Yaman et al., 2019; Eli-Cophie et al., 2017).

Por otro lado, la carga glucémica (CG) es el producto del IG y el contenido total de carbohidratos disponibles en una cantidad dada de alimento ($CG = IG \times \text{carbohidrato disponible/cantidad dada de alimento}$) (Zhang et al., 2020). Los carbohidratos disponibles pueden tener diferentes modos de expresión, por ejemplo: gramo (g) por porción, g por 100 g de alimento, g por ingesta diaria y g por 1000 kJ o 1000 kcal (1 kcal = 4,184 kJ) (Augustin et al., 2015). Por lo tanto, dependiendo del contexto en el que se utilice, la CG tiene

unidades correspondientes de g por porción, g por 100 g de alimento y g por 1000 kJ o 1000 kcal (Augustin *et al.*, 2015). CG (Figura 1.9) se introdujo para obtener una estimación general de la glucemia posprandial y la demanda de insulina (Zhang *et al.*, 2020).

Para clasificar la calidad y cantidad de carbohidratos en los alimentos, se recurre a los conceptos de índice glucémico (IG) (Li y Hu, 2021) y velocidad de digestión (Zhang *et al.*, 2020), donde los carbohidratos, la estructura, el contenido de amilosa, la cantidad de humedad y el contenido de fibra son importantes para determinar la respuesta glucémica (Sun *et al.*, 2022).

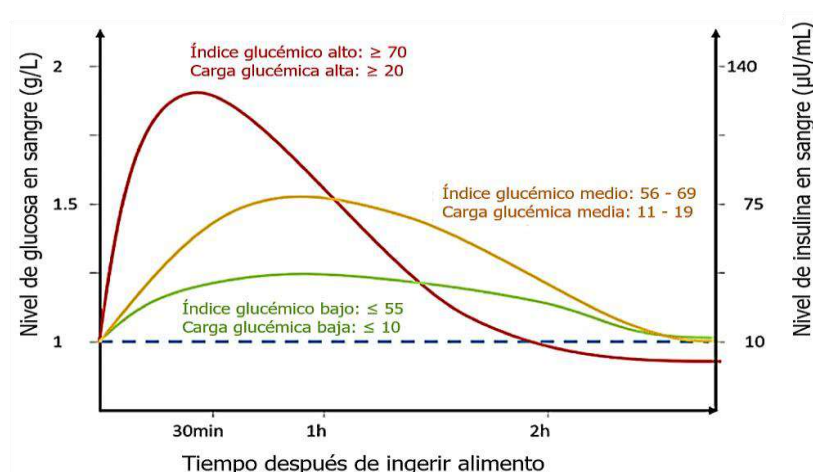


Figura 1.9 Curva de índice glucémico (IG) y carga glucémica (CG)

Fuente: Carneiro y Leloup, 2020

Por ejemplo, los alimentos elaborados con harinas finamente molidas en lugar de cereales integrales tienden a ser asociados con niveles elevados de glucosa de digestión rápida (Moore *et al.*, 2015; Jenkins *et al.*, 1981); sin embargo, en caso de las pastas, al ser fuentes de almidón de digestión lenta, los niveles de glucosa en sangre posprandial son bajos (Jenkins *et al.*, 1983), esto se debe principalmente a su estructura compacta (Björck *et al.*, 1994; Wolever *et al.*, 1986) y la encapsulación de los gránulos de almidón por una red continua de proteínas (Colonna *et al.*, 1990; Fardet *et al.*, 1998). Tras ingerir la pasta como un alimento sólido de textura compacta, se requiere solo un bajo grado de masticación antes de tragar e ingresa al estómago como enormes partículas sólidas, lo que delimita el

área de superficie sobre la cual las enzimas digestivas pueden obtener acceso al almidón disponible, lo que limitando las tasas de digestión (Kim et al., 2008; Jenkins et al., 1983).

Existen métodos *in vivo* e *in vitro* para calcular los valores de IG de los alimentos:

Comúnmente, el IG es medido a través de pruebas *in vivo*, donde el IG se calcula a partir del área incremental bajo la curva de respuesta de la glucosa en sangre (iAUC), después de dos horas después del consumo de un alimento de prueba, dividido por el iAUC de un alimento de referencia (glucosa o pan blanco) de contenido de carbohidratos equivalente (Di Pede et al., 2021; Singh et al., 2021; Dodd et al., 2011). No obstante, estas requieren de mucho tiempo y dinero para ser utilizadas (Brand-Miller y Holt 2004). Por ello se ha recurrido a ensayos *in vitro* y modelar el proceso de digestión enzimática de carbohidratos y estimar el IG con base en la cinética de hidrólisis del almidón (Ferrer-Mairal et al., 2012; Frei et al., 2003). Estas pruebas tienen la ventaja de permitir controlar varios factores de la digestión que no podrían ser controladas en pruebas *in vivo* (Bornhorst y Singh 2014), además de ser más económicos, no invasivos y aplicables a un gran número de muestras (Ferrer-Mairal et al., 2012).

Por otra parte, para la *digestión de proteínas*, estas son desnaturalizadas por ácido e hidrolizadas por pepsina gástrica en el estómago, para luego ser hidrolizadas nuevamente por proteasas pancreáticas (tripsina, quimotripsina) y absorbidas por enterocitos del intestino delgado (íleon) hacia el torrente sanguíneo como AA individuales para uso en el cuerpo (Dallas et al., 2017) (Bhutia y Ganapathy, 2018). La desnaturalización abre la estructura de la proteína, haciéndola más accesible para las enzimas hidrolíticas y, por lo tanto, aumenta la digestibilidad de la proteína. Sin embargo, al mismo tiempo, la desnaturalización de proteínas también expone su región hidrofóbica que normalmente está oculta del ambiente acuoso (Gulati et al., 2017). El impacto hidrofóbico, en paralelo con otras interacciones que se activan repentinamente debido a los cambios conformacionales, conducirá eventualmente a la agregación de proteínas y a una menor digestibilidad (Gulati et al., 2017). Lo que conlleva a tener casos donde algunas proteínas no puedan digerirse y, lleguen completas o parcialmente intactas al colon, representando una utilización proteica incompleta, debido a que el colon no segrega proteasas digestivas que ayuden a su absorción (Dallas et al., 2017).

La calidad de la proteína no solo se considera la composición de aminoácidos, también es importante conocer la digestibilidad y absorción en el tracto gastrointestinal, es decir, una proteína puede tener un muy buen perfil de aminoácidos, pero aun así ser difícil de digerir y/o absorber (Schaafsma, 2000). Para ello, se disponen de distintos modelos de digestión de proteínas *in vivo* e *in vitro*.

En los ensayos *in vivo* usualmente se recurre a medir la calidad de proteína en base a la respuesta animal (en su mayoría ratas) luego de ser alimentado (Tavano et al., 2016), cuantificando la diferencia entre el contenido de proteínas en los alimentos ingeridos y los excretados en heces (Sarwar, 1997). Aunque la digestibilidad ileal es más adecuada para cuantificar la digestión, porque la digestibilidad real del nitrógeno fecal no tiene en cuenta los aminoácidos esenciales que se pierden en el colon, a través de la actividad de la flora intestinal (Schaafsma, 2012). Sin embargo, este tipo de estudios puede llegar a costosos (Boye et al, 2012) así como desacuerdos éticos debido a la experimentación con animales (Tavano et al., 2016). Los métodos *in vitro* simulan los efectos de la digestión humana por medio de enzimas para hidrolizan las muestras de proteínas, primero con pepsina en la fase gástrica, seguida de la acción de la pancreatina (tripsina y quimotripsina) en la fase del intestino delgado (Boye et al, 2012). Debido a que los modelos de digestión *in vitro* pueden evaluar rápidamente los ingredientes dietéticos, ofrecen una alternativa viable a los modelos animales y humanos (Coles et al., 2005).

En el caso de las pastas, su estructura es responsable del disminuir la hidrólisis de proteínas y almidón. El reordenamiento molecular de las proteínas de la sémola conlleva a formar grandes agregados unidos por enlaces covalentes, este encruzamiento interpeptídico y agregados de tipo Maillard (proteína-carbohidrato) que pudieron formarse durante al proceso de secado, hace que las proteínas sean más resistentes a la digestión (Petitot et al., 2009).

JUSTIFICACIÓN

Cada año se generan residuos orgánicos provenientes de la cosecha, producción y consumo de alimentos que, usualmente se destinan para compostaje, vertederos, incineración y alimentación animal. Sin embargo, con el paso del tiempo, trajeron consigo severos problemas en cuestiones ambientales, éticas, sociales y económicas. La industria alimentaria ha incrementado su interés por disminuir la incorporación de aditivos sintéticos y en su lugar optar por la formulación o modificación de productos existentes con ingredientes provenientes de subproductos vegetales tradicionales que contienen compuestos bioactivos que cubran requisitos nutricionales y además sean benéficos para la salud. A la vez existe una tendencia al consumo de alimentos vegetales regionales para sustituir a los cereales convencionales como el trigo, del cual se tiene una alta dependencia para la alimentación.

Las pastas alimenticias hechas de trigo son popularmente conocidas y consumidas, debido a la facilidad de preparación, conservación y transporte, por lo que serían un buen vehículo de nutrimentos. Para mejorar sus propiedades nutricionales o sustituir a la harina de trigo duro se han añadido a la formulación de pastas alimenticias, diversos ingredientes provenientes de subproductos vegetales, por ejemplo: cáscara de mango, piel de cebolla, orujo de uva, cáscara de sandía, orujo de aceituna, entre otros. No obstante, se disponen de residuos derivados del consumo o procesamiento de frutas tropicales de ciertas regiones que pueden ser incorporados como harinas de fuente no convencional en la formulación, desarrollo y características de calidad de las pastas alimenticias. En este contexto, las almendras de la huaya son un subproducto derivado del consumo de la pulpa del fruto, principalmente en la Península de Yucatán. En México, la producción nacional del fruto es de al menos 12,565 ton donde cada fruto pesa entre 9 a 22 g, debido a que la semilla corresponde al 40 % del peso total de la fruta fresca, se generan grandes cantidades de residuos orgánicos.

Se ha reportado que el almidón de esta almendra contiene un mayor porcentaje de almidón resistente, volviéndolo un ingrediente poco sensible a la hidrólisis enzimática. Debido a esta característica, se propone aprovechar la harina de almendra de huaya como ingrediente de fuente no convencional en la formulación de una nueva pasta y sustituir parcialmente a

cereales convencionales como el trigo. Además, al generar el comercio de estas semillas como ingrediente alternativo para elaborar alimentos, los agricultores locales se verán beneficiados. En este estudio se valorizaron las almendras de huaya como fuente de harina alternativa en el desarrollo de una pasta de sémola de trigo duro con buenas características de calidad.

OBJETIVOS

1.3 Objetivo general

Evaluar la calidad de cocción, propiedades nutricionales, físicas y sensoriales de una pasta de sémola de trigo duro adicionado con harina de almendras de huaya (*Melicoccus bijugatus* Jacq).

1.4 Objetivos específicos

1. Determinar el porcentaje de sustitución de sémola de trigo duro por harina de huaya para la obtención de una masa cohesiva con buenas características de fácil amasado, laminado y corte.
2. Determinar el Tiempo Óptimo de Cocción (TOC) de una pasta de trigo duro con 0, 20 y 30 % de sustitución con harina de huaya.
3. Evaluar las características de calidad de cocción de una pasta de sémola de trigo adicionado con 20 y 30 % de harina de huaya
4. Evaluar la influencia de la adición de la harina de huaya sobre las propiedades físico-químicas y sensoriales de una pasta de sémola de trigo duro.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Estrategia general de trabajo

La estrategia general de este trabajo (Figura 2.1) consistió en la colecta de la fruta fresca de huaya (*Melicoccus bijugatus* Jacq) para obtener sus semillas. A su vez, las almendras fueron molidas para obtener una harina determinando el tamaño de partícula. Se prepararon las masas para elaborar pastas fettuccine de sémola de trigo duro con diferentes porcentajes de sustitución de harina de huaya (0, 20, 30, 40 y 50 %). Utilizando una escala de estimación (escala de cruces) se determinó los mejores porcentajes de sustitución (20 y 30 %) para obtener una masa con buenas características de amasado, laminado y corte. Tras pre-secar las pastas (20 y 30 %) a 40 °C durante 4 h, se determinó su tiempo óptimo de cocción (TOC) y se evaluó su calidad de cocción, propiedades físico-químicas y sensoriales.

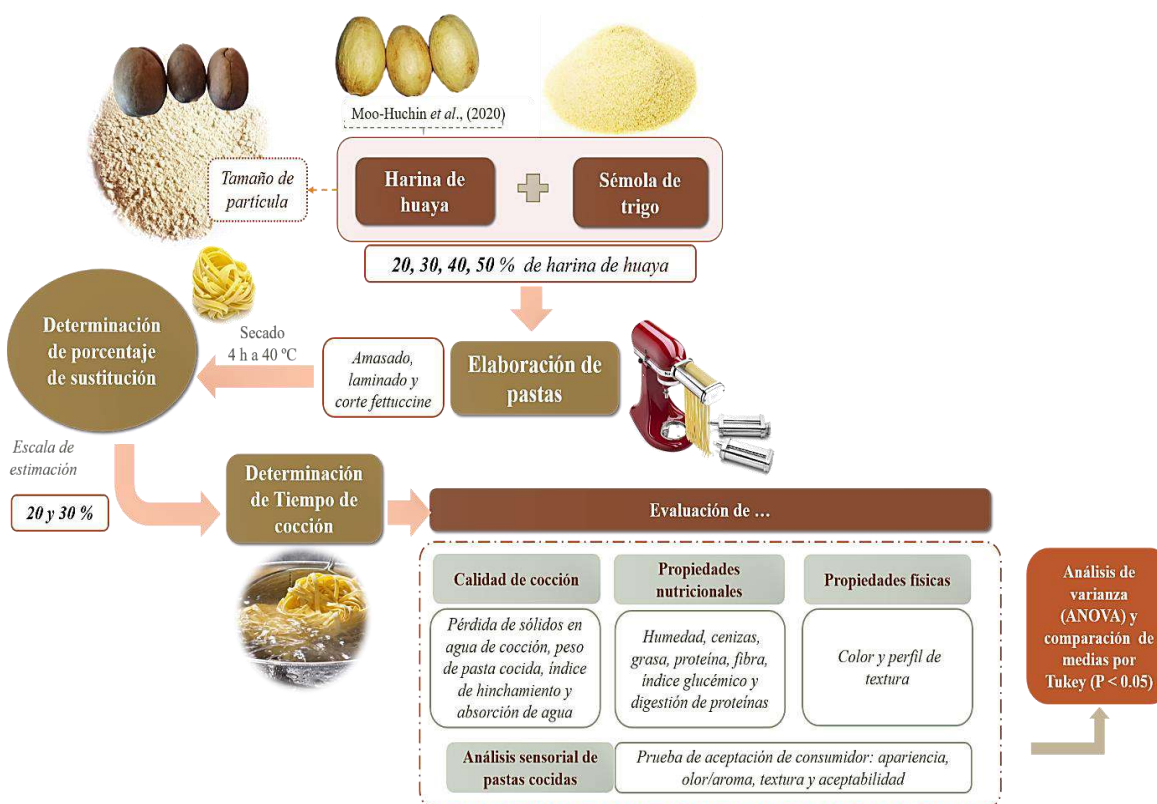


Figura 10 Estrategia general de trabajo

2.2 Obtención de la harina de huaya

Los frutos de huaya (*Melicoccus bijugatus* Jacq) fueron recolectados en la localidad de Pomuch en el estado de Campeche, México durante el mes de junio 2022. Los frutos enteros fueron lavados con agua corriente y secados. Tras el lavado, se retiró la cáscara y la pulpa para obtener las semillas de la fruta. Las semillas obtenidas se sometieron a un proceso de secado en una estufa de convección (TERLAB-TEH80MD, México) a 45 °C durante 72 h. La testa fue removida con la finalidad de extraer la almendra y molerlas en una licuadora (WARING COMMERCIAL 7012G Lab Blender, EE. UU.) durante 10 s. Después, la harina de almendra de huaya se procesó en Nutribullet 600W, Los Ángeles, EE. UU., durante 45 s para obtención de un polvo fino con posterior almacenamiento a 4 °C hasta su uso.

2.3 Determinación de porcentajes de sustitución para la obtención de masa

Las masas de las pastas fueron elaboradas con sémola de trigo duro y diferentes proporciones (0, 20, 30, 40 y 50 %, p/p) de harina de almendras de huaya. Cada mezcla de harinas se homogeneizó en una batidora doméstica (KitchenAid Artisan KSM150PSOB, Ohio, EE. UU.) durante 2 min. La masa se formó al añadir y mezclar la cantidad de agua (para alcanzar una humedad ~35 %) previamente determinada para cada formulación durante 15 min y dejarlo reposar por 10 min (Wieser et al., 2020).

Utilizando accesorios de la batidora (KitchenAid, KPRA) la masa se lamina (hasta 1 mm de espesor) con un rodillo de grosor ajustable de 8 niveles, de acuerdo con el siguiente orden: 4 veces en nivel 1 y una vez en los niveles 2, 3 y 4, respectivamente. Luego, con el accesorio de corte, la lamina se cortó en forma tipo fettuccine. Se obtuvo pastas de 1 mm de grosor, 10 mm de ancho y 250 mm de largo (Littardi et al., 2020).

Las mejores formulaciones fueron seleccionadas con base en una escala de estimación de cruces (Tabla 2.1) que considera la cohesividad y ausencia de ruptura de la pasta durante el proceso de laminado y corte.

Tabla 11 Escala de estimación de elaboración de masas para pastas alimenticias

Características	Nivel
Masa cohesiva, sin ruptura en laminado y corte, no se pega en los rodillos.	++ + + +
Masa cohesiva, sin ruptura en laminado, con ruptura en corte (5 %) y no se pega en los rodillos	+ + + +
Masa parcialmente cohesiva, formación de lámina incompleta con grietas (20 %), sin ruptura en corte, no se pega en los rodillos.	+ + +
Masa parcialmente cohesiva, formación de lámina incompleta con grietas (30 %) con ruptura en corte, no se pega en los rodillos	+ +
Masa no cohesiva, ruptura en laminado y corte, se pega en los rodillos, no se forma la pasta cruda	+

2.4 Obtención y cocción de pasta

Previamente, las pastas frescas obtenidas en la sección 5.3 fueron presecadas (para obtener una humedad entre 10-12 %) en una incubadora (ECOSHEL 9052, Colorado, EE. UU.) a 40 °C durante 4 h. TOC se determinó mediante la metodología descrita por Huang et al. (2022) el tiempo en el que desaparece la línea blanca visible en el centro de la pasta tras su compresión entre dos placas de vidrio. Al transcurrir TOC el agua caliente fue drenada, para evitar la sobrecocción de las pastas se vertió 50 mL de agua purificada fría y se dejó secar por 10 min. Una parte de las pastas presecadas se utilizaron para evaluar la calidad de cocción, mientras que la otra parte fueron cocidas y secadas en una incubadora (ECOSHEL 9052) a 50 °C durante 48 h. A continuación, las pastas son pulverizadas en un procesador de alimentos Nutribullet 600W y se almacenó a 4°C hasta su análisis.

2.5 Determinación de toc de las mejores formulaciones

A partir de la mezcla de harinas (sémola + harina de huaya) que resultaron en una masa con buenas características, se obtuvo una pasta cocida tal como se describe en la sección 2.4.

2.6 Calidad de cocción

La calidad de cocción fue determinada por medio de pérdida por cocción (Ecuación 1), absorción de agua (Ecuación 2) e índice de hinchamiento (Ecuación 3) de acuerdo a la metodología descrita por Chettrariuv y Dabija (2021) con modificaciones.

$$\text{Pérdida por cocción (\%)} = \left(\frac{[\text{Peso sólidos en crisol}] [\text{Vol. agua de cocción drenada}]}{[\text{Alícuota de agua de cocción drenada}] [\text{Peso pasta no cocida}]} \right) * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\text{Absorción de agua (\%)} = \left(\frac{\text{Peso pasta cocida} - \text{peso pasta no cocida}}{\text{peso pasta no cocida}} \right) * 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\text{Índice de hinchamiento} \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{\text{Peso pasta cocida} - \text{peso pasta cocida secada}}{\text{peso pasta cocida secada}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Para el peso de pasta cocida, cada muestra de pasta se sometió a TOC determinado previamente, después se pesó y se calculó el peso tras la cocción expresado g/10 g.

2.7 Propiedades físicas

2.7.1 Color

El color CIELAB de las pastas cocidas y crudas fue medida a través de un colorímetro (Hunter Lab MiniScan EZ, Melbourne, Australia). El color de las muestras se obtuvo colocando el visor del colorímetro sobre la superficie de la pasta y se registraron los parámetros L^* (luminosidad $L^*=100$, blanco; $L^*=0$, negro), a^* ($+a^*=$ rojo, $-a^*=$ verde) y b^* ($+b^*=$ amarillo, $-b^*=$ azul). Con los valores de color a^* y b^* se calcularon el ángulo de tono ($^\circ h$) (Ecuación 4), la cromaticidad (C^*) (Ecuación 5) (McGuire, 1992) y finalmente la diferencia de color total (ΔE) (Ecuación 6) (Vimercati et al., 2020).

$$^\circ h = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L)^2} \quad (\text{Ec. 6})$$

2.7.2 Perfil de textura (TPA)

Para el análisis de perfil de textura se utilizó la metodología descrita por Kasunmala et al. (2020) con modificaciones. TPA se realizó en un equipo Shimadzu (Kyoto, Japón) modelo EZ Test EZ-SX con software TRAPEZIUM X. Previamente, las pastas presecadas (5 cm de longitud) se cocieron a TOC (control = 8 min, H₂₀ = 6 min y H₃₀ = 4 min). Una sola hebra fue sometida a una doble compresión (su espesor 75 % de inicial), utilizando un plato de compresión de 35 mm de diámetro, con velocidad inicial de 1 mm/s, fuerza de 0.5 N, con un tiempo de intervalo de 10 s entre el primer y segundo ciclo de compresión. A partir de la curva de análisis del perfil de textura, se obtuvieron los parámetros: dureza, adhesividad, cohesividad, gomosidad, elasticidad y masticabilidad.

2.8 Propiedades nutricionales

2.8.1 Composición química proximal

La composición química proximal de las pastas en polvo se determinó por duplicado de acuerdo con los métodos de la AOAC (1997) para humedad (925.10), cenizas (923.03), grasa (920.39), fibra cruda (7.070) y proteína (920.87). Para calcular el contenido de carbohidratos, se utilizó el método por diferencia de materia seca, donde a 100 se le restó la suma total del contenido de humedad, grasa, proteína y cenizas (Ecuación 7). El valor calórico se calculó por medio del factor Atwater y se expresó en Kcal/100 g (Ecuación 8).

$$\text{Carbohidratos (\%)} = 100 - [\text{Proteína (\%)} + \text{Grasa (\%)} + \text{Humedad (\%)} + \text{ceniza (\%)}] \quad (\text{Ec } 7)$$

$$\text{Calorías (Kcal/100 g)} = [\% \text{ Carbohidratos (4)} + \% \text{ proteínas (4)} + \% \text{ grasas (9)}] \quad (\text{Ec } 8)$$

2.8.2 Índice glucémico *in vitro*

El índice glucémico (IG) del polvo de muestra liofilizada fue calculado de acuerdo con el procedimiento establecido por Goñi et al. (1997) con algunas modificaciones. Previamente, se liofilizó 50 g de pasta cocida y cruda, a los que se les retiró los azúcares reductores disolviendo 150 mg de muestra en 30 mL de etanol al 75 % por 15 min (2 veces), el sólido filtrado se dejó secar a 45 °C por una noche, para después molerlo con un mortero. Para el análisis de IG *in vitro*, 500 mg de muestra seca fueron incubados con 5 mL de solución de pepsina (1 g de pepsina 400 U/mg en 100 mL de buffer KCl-HCl 0.01 M pH 2) a 37 °C con

agitación magnética por 30 min. Transcurrido el tiempo, se adicionaron 5 mL de NaOH 0.01 M y 25 mL de buffer de acetato de sodio pH 5.6 y se agitó por 5 min a 37°C, seguidamente se aforó a 40 mL con el mismo buffer de acetato de sodio y se tomaron 200 µL como tiempo 0 para la determinación azúcares reductores.

La hidrólisis del almidón inició en agitación contante a 37 °C, con la adición de 5 mL de una solución enzimática (500 µL enzima α -amilasa 2000 – 6000 U/mL, resistente al calor disuelto en 11 mL de PBS-phosphate saline buffer por sus siglas en inglés), con posterior adición de 50 µL de amiloglucosidasa (para el ensayo de Fibra dietética total), 1 mL de solución de tripsina (8 mg de tripsina 1000 – 2000 U/mg disuelto en 4 mL de buffer de acetato de sodio pH 5.6), y 1 mL de solución de quimotripsina (2 mg de quimotripsina $\geq$ 40 U/mg disuelto en 4 mL de buffer de acetato de sodio pH 5.6) para después, rapidamente aforarse a 47 mL con buffer de acetato de sodio pH 5.6; las muestras fueron incubadas a 37 °C por 180 min bajo agitación constante 100 rpm. Se tomó una alícuota de 200 µL de la mezcla de reacción al transcurrir 1, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120 y 180 min de incubación, misma que fue colocada en un tubo eppendorf que contenía previamente 800 µL de etanol absoluto para inactivar las enzimas inmediatamente, luego fueron centrifugadas a 14,000 rpm por 3 min.

El contenido de azúcares reductores en el sobrenadante (0.5 mL) fue determinado por el método DNS (Miller, 1959), el almidón fue calculado como glucosa x 0.9 y la velocidad de digestión fue expresada como el porcentaje total de almidón hidrolizado a diferentes tiempos. Un modelo no lineal siguiendo la ecuación $[C = C_1 \infty (1 - e^{-kt})]$, fue aplicado para describir la cinética de hidrólisis del almidón, donde C, C1, y k corresponden al grado de hidrólisis en cada tiempo, el grado máximo de hidrólisis y la constante de la cinética, respectivamente.

El índice de hidrólisis (IH) fue calculado como la relación entre las áreas bajo la curva (0 – 180 min) de las muestras de tortillas y el área de un material estándar (pan blanco como referencia). IG fue calculado usando la ecuación propuesta por Goñi et al. (1997), donde $IG = 39.71 + 0.549 IH$.

2.8.3 Digestión de proteínas

Se determinó la digestión de proteínas (DIP) siguiendo el procedimiento descrito por Sharma et al. (2018). Se realizó una proteólisis en dos etapas bajo condiciones controladas. La muestra (500 mg de muestra liofilizada) fue incubada con 15 mL de una solución de pepsina (1.08 g de pepsina ≥ 400 U/mg, P7125, aforado a 100 mL de HCl 0.1 N pH 1.9) durante 2 h a 37 °C a 150 rpm. Se neutralizó la mezcla con NaOH 2 M, seguido de una incubación con 10 mL de una solución de pancreatina (0.8 g de pancreatina 2500 U/mg, P1750, aforado a 100 mL de NaHCO₃ 0.5 M pH 8) durante 2 h a 37 °C a 150 rpm para la digestión enzimática. Después de la digestión completa, el contenido se transfirió a un tubo centrífugo y se centrifugó a 3000 rpm por 15 min. Se eliminó el sobrenadante y el sedimento se secó a 50 °C durante una noche, para su análisis del contenido de nitrógeno usando Microkjedahl. La digestibilidad (ecuación 9) se calculó restando el contenido de proteína digerida de la no digerida sobre 100 g de muestra. Es decir, la digestibilidad se calculó mediante la relación entre la proteína de los sedimentos digeridos y el contenido de proteína en la muestra antes de la digestión.

$$\text{Digestibilidad de proteína (\%)} = \left(\frac{\text{proteína de muestra digerida (\%)}}{\text{proteína de muestra antes de la digestión (\%)}} \right) * 100 \quad (\text{Ec. 9})$$

2.9 Análisis estadístico

Los análisis se realizaron por triplicado para cada muestra y los resultados se expresó como media $\pm$ desviación estándar. Los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico InfoStat ® a través de un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, donde las diferencias significativas entre medias se determinaron por la prueba Tukey ($p < 0.05$)

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Determinación de los porcentajes de sustitución de trigo por harina de huaya y tamaño de partícula.

La tabla 3.1 muestra el efecto de la adición de HH (harina de huaya) en sémola de trigo (ST) sobre las características de la masa para la elaboración de la pasta fettuccine. Se encontró que la sustitución de ST por el 20 y 30 % de HH dio lugar a una masa calificado con cinco cruces que correspondía a un material cohesivo sin adhesión al rodillo, sin ruptura durante el laminado y el cortado (Figura 3.1).

Otro resultado indica que con la adición de 40 y 50 % HH, la masa obtenida mostró un detrimento en la calidad atribuido a problemas en laminado y corte. Se observó que a medida que incrementa el porcentaje de sustitución con HH, la cantidad de agua de la masa también aumenta. Una situación contraria se observó en TOC de la pasta. La variación en el porcentaje de agua observado en las formulaciones se puede explicar por las diferencias en el tamaño de las partículas entre ST y HH que afecta la absorción de agua de la masa, el cual se considera un factor importante en la producción de pasta (Bonacci et al., 2023).

En la figura 3.2 se exhibe el tamaño de partícula de HH y ST. Las partículas (heterogéneas) de HH varían de tamaño entre 15 y 65 μm , donde el mayor porcentaje de volumen de distribución son partículas de alrededor de 20 μm . La ST contiene partículas entre 1 y 50 μm , con un volumen de distribución más homogéneo. Al añadir la almendra de huaya a la formulación de pastas de sémola de trigo, se genera una mezcla de harinas con tamaños de partículas heterogéneas, esto puede afectar a la formación de la masa, explicado porque las partículas más grandes no absorben suficiente agua o, por el contrario, las más pequeñas se sobrehidratan (Bonacci et al., 2023).

Tabla 12 Efecto de la sustitución de sémola de trigo con harina de huaya (*Melicoccus bijugatus* Jacq) en las características de la masa para la elaboración de una pasta fettuccine

Sustitución (%)	Sémola de trigo duro (g)	Harina de almendra huaya (g)	Agua (mL)	TOC (min)	Amasado	Laminado	Corte
0	100	0	43	8	+++++	+++++	+++++
20	80	20	45	6	+++++	+++++	+++++
30	70	30	50	4	+++++	+++++	+++++
40	60	40	51	4	+++++	++++	++++
50	50	50	55	4	+++++	+++	++

TOC: Tiempo Óptimo de Cocción

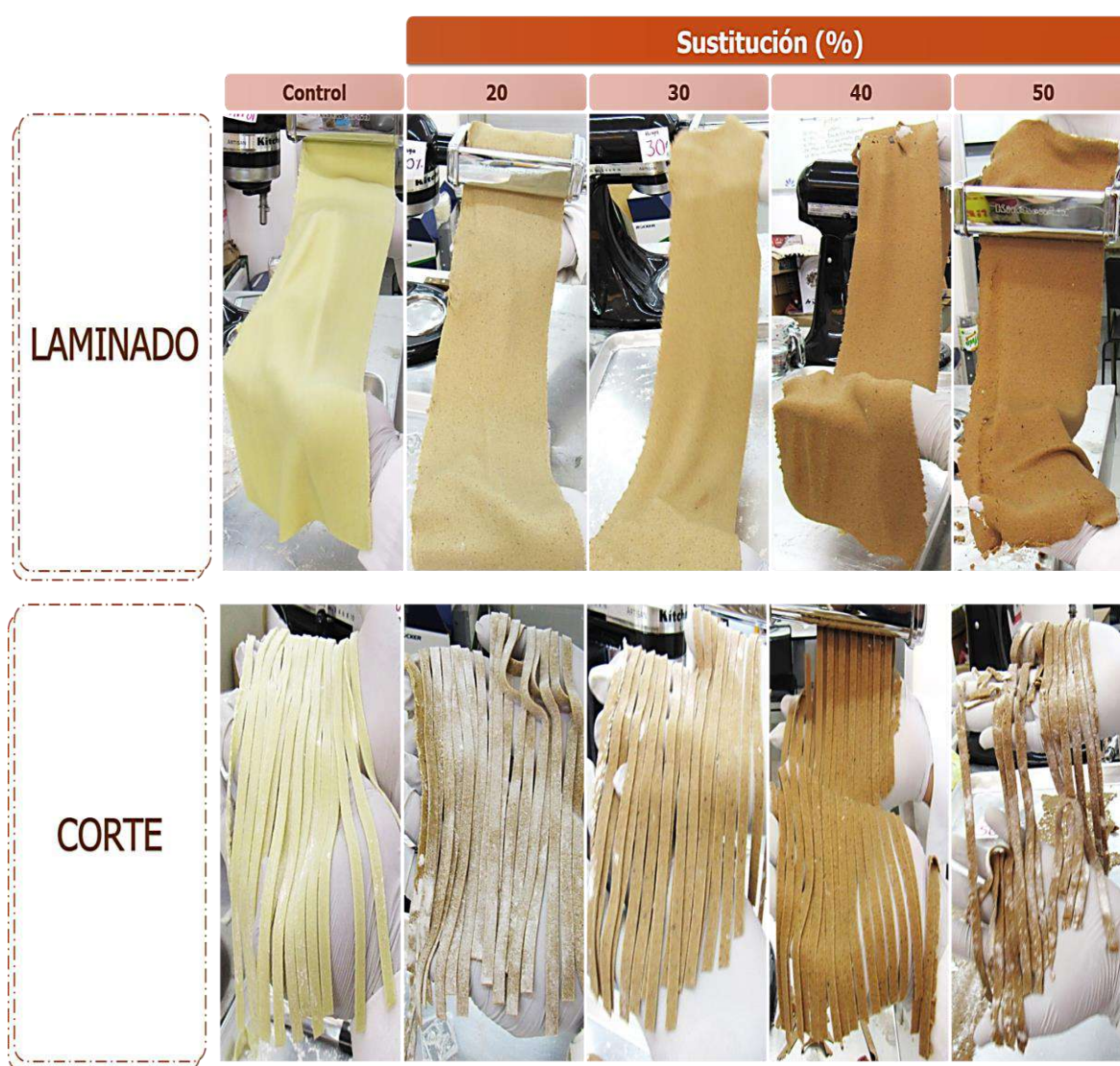


Figura 13 Laminado y corte de pastas con 0, 20, 30, 40 y 50 % de harina de huaya

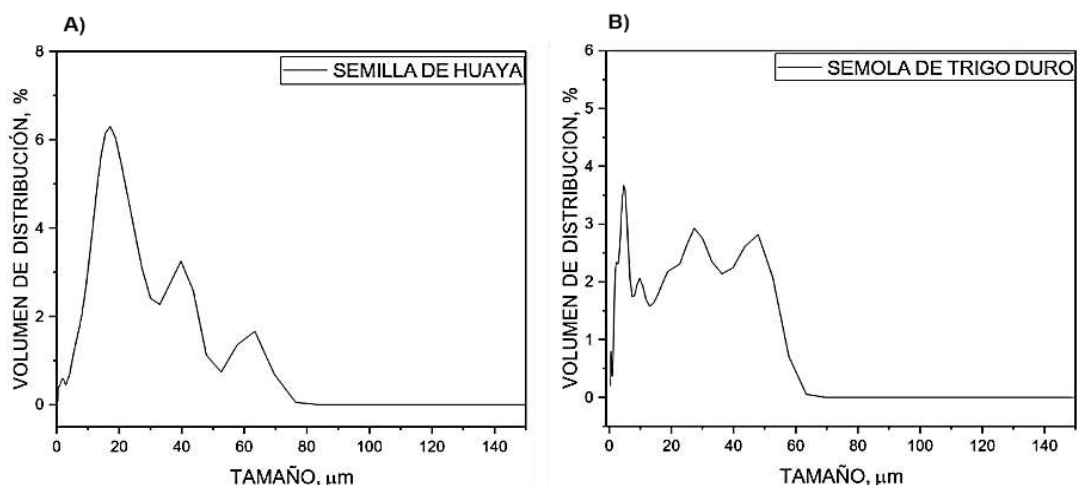


Figura 14 Tamaño de partícula: A) harina de almendra de huaya; B) sémola de trigo *durum*

3.2 Efecto de la sustitución en las propiedades de calidad de cocción y textura

Los factores que determinan la calidad de las pastas y que afectan a la aceptación del consumidor son: el rendimiento de cocción y la textura, el cual están relacionados con la estructura física de la pasta. En pastas de trigo duro, estas propiedades dependen de la formación del gluten y la matriz de gluten-almidón (Ribeiro et al., 2022). En la tabla 3.2, se muestra el efecto de la sustitución de la ST por HH sobre la calidad de cocción y el perfil TPA de las pastas alimenticias.

El TOC tiende a ser más corto conforme el porcentaje de sustitución aumenta. La disminución significativa de TOC de las pastas se atribuye a que las partículas de HH interfieren en la unión de las proteínas del gluten con el almidón del trigo, formando espacios que permiten el ingreso más rápido del agua durante la cocción conduciendo a la disminución del TOC (Huang et al., 2022; Bianchi et al., 2021), absorción de agua y el peso de la pasta cocida, tal como fue observado en las pastas H₂₀ (142.37 ± 6.35 y 24.24 ± 0.64 , respectivamente) y H₃₀ (133.17 ± 5.26 y 23.32 ± 0.53 , respectivamente) en comparación al control (Drabińska et al., 2022).

Cuando hay cambios en la estructura de la pasta también disminuye su resistencia a la desintegración durante la cocción y existe mayor pérdida de sólidos en el agua de cocción (Xing et al., 2023); por lo tanto, la pérdida por cocción de las pastas H₂₀ (4.58 ± 0.07 %) y H₃₀ (5.31 ± 0.09 %) son significativamente mayores que la pasta control (3.45 ± 0.03 %).

Sin embargo, esta pérdida de sólidos de las pastas evaluadas no excede del 8 % permitido para tener pastas de buena calidad (Bianchi et al., 2021).

Los valores del índice de hinchamiento entre la pasta control (1.84 ± 0.02) y H_{20} (1.92 ± 0.01) fueron similares, mientras que H_{30} (1.74 ± 0.06) fue la pasta que obtuvo el valor más bajo. La disminución del índice de hinchamiento de H_{30} puede atribuirse a que el almidón del trigo y la huaya compiten para absorber el agua y gelatinizarse, esto impide que se forme la red proteica y por tanto disminuye el hinchamiento del almidón (Drabińska et al., 2022). Sin embargo, H_{20} y H_{30} se pueden considerar pastas de calidad, ya que sus valores de índice de hinchamiento son cercanos al límite de 1.8 (Bustos et al., 2015).

En otros estudios también se ha encontrado que la incorporación de subproductos como la piel de cebolla (Michalak-Majewska et al., 2020), vainas de moringa (Kamble et al., 2021) y orujo de uva (Tolve et al., 2020) en pasta provoca una disminución del TOC y un aumento de la pérdida por cocción. Mientras que el comportamiento general de la calidad de cocción en las pastas con huaya es similar a lo reportado por Simonato et al., (2019) para pastas con orujo de oliva.

En las pastas crudas, el espesor de todas las muestras no tuvo diferencias significativas, cuyos valores van de 1.24 hasta 1.27 mm, mientras que el ancho de la pasta cruda de H_{20} (6.26 ± 0.04 mm) fue mayor que el control y H_{30} . En el caso del espesor de la pasta cocida, el valor de H_{20} fue mayor (1.71 ± 0.02 mm) que el control y H_{30} . Además, el ancho de las pastas cocidas H_{20} (8.25 ± 0.03 mm) y H_{30} (8.24 ± 0.02 mm) redujo en comparación al control. Cuando el gluten es hidratado forma una red con una alta capacidad de retención de agua, cuando este se reduce en la formulación de la pasta, su estructura se debilita y su retención de agua disminuye (Bello-Pérez et al., 2022). El espesor y ancho de la pasta cocida H_{20} y el control parece tener una capacidad de retención de agua similar, ya que el índice de hinchamiento de ambas pastas no tiene diferencias significativas (Martín-Esparza et al., 2018).

Debido a que existe una estrecha relación entre la textura y la formación de la red proteica del gluten en las pastas, la incorporación de la harina de huaya debilita las matrices de gluten y provoca cambios en el TPA de las pastas cocidas (Xing et al., 2023) que pueden

relacionarse con TOC, la pérdida por cocción y el hinchamiento de los gránulos del almidón de la pasta (Espinosa-Solis et al., 2019).

Con excepción de la adhesividad, los valores de las demás características de textura son menores que la pasta control. La pasta control (-0.0011 ± 0.00) y la pasta H₂₀ (-0.0010 ± 0.00) presentaron el nivel más alto de adhesividad en comparación a H₃₀, el cuál significa que las primeras dos pastas requieren mayor fuerza para separarse del plato de compresión. Estos resultados de adhesividad pueden compararse con lo reportado por Simonato et al., (2019) en orujo de oliva. Los valores de dureza (de 14.31 ± 0.90 hasta 19.86 ± 1.22 N) y gomosidad (de 8.16 ± 0.32 hasta 14.21 ± 0.74 N) tienden a disminuir conforme la sustitución aumenta. Mientras que la cohesividad, elasticidad y masticabilidad entre H₂₀ y H₃₀ no tuvieron diferencias significativas. Los valores de dureza pueden compararse a lo reportado por Mu et al (2022) en pastas con harina de quinua (*Chenopodium quinoa*).

Tabla 15 Calidad de cocción y perfil de textura (TPA) de pasta fettuccine de sémola de trigo y pastas con harina de huaya

Característica	Control	H ₂₀	H ₃₀
TOC (min)	7.83 ± 0.28^c	6.17 ± 0.27^b	4.17 ± 0.27^a
Pérdida por cocción (%)	3.45 ± 0.03^a	4.58 ± 0.07^b	5.31 ± 0.09^c
Índice de hinchamiento (g agua/g pasta seca)	1.84 ± 0.02^b	1.92 ± 0.01^b	1.74 ± 0.06^a
Absorción de agua (%)	163.33 ± 4.24^b	142.37 ± 6.35^a	133.17 ± 5.26^a
Peso de pasta cocida (g/10 g)	26.33 ± 0.42^b	24.24 ± 0.64^a	23.32 ± 0.53^a
Espesor pasta cruda (mm)	1.24 ± 0.04^a	1.24 ± 0.03^a	1.27 ± 0.03^a
Espesor pasta cocida (mm)	1.55 ± 0.03^a	1.71 ± 0.02^b	1.55 ± 0.02^a
Ancho cruda (mm)	6.21 ± 0.02^a	6.26 ± 0.04^b	6.20 ± 0.01^a
Ancho cocido (mm)	8.56 ± 0.20^b	8.25 ± 0.03^a	8.24 ± 0.02^a
Dureza (N)	19.86 ± 1.22^c	15.90 ± 0.72^b	14.31 ± 0.90^a
Adhesividad (N.s)	-0.0011 ± 0.00^b	-0.0010 ± 0.00^b	-0.0007 ± 0.00^a
Cohesividad	0.70 ± 0.02^b	0.58 ± 0.04^a	0.57 ± 0.05^a
Elasticidad	0.96 ± 0.06^b	0.77 ± 0.04^a	0.75 ± 0.03^a
Gomosidad (N)	14.21 ± 0.74^c	9.15 ± 0.45^b	8.16 ± 0.32^a
Masticabilidad (N)	12.06 ± 0.11^b	6.58 ± 0.44^a	6.47 ± 0.22^a

Los valores son promedios $\pm$ desviación estándar (n=3). Las medias en una fila con letras distintas expresan que tienen diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Control: sólo sémola de trigo; H₂₀: harina de huaya (20 g) + sémola de trigo (80 g); H₃₀: harina de huaya (30 g) + sémola de trigo (70 g).

3.3 Color instrumental CIE

El color es un atributo que el consumidor percibe para poder aceptar un producto alimenticio con base en su apariencia (Ribeiro et al., 2022). En la tabla 3.3 se presenta el efecto de la adición de HH sobre el color CIE en pastas crudas y cocidas.

Los valores de color L^* y b^* en las pastas con HH (crudas y cocidas) son más bajos respecto al control, por lo cual son más oscuras con menos coloración amarilla. Por otra parte, los valores de color a^* en pastas H_{20} y H_{30} , tanto crudas como cocidas, son mayores que el control y por lo tanto son más rojizas. Con base en los valores de $^\circ\text{Hue}$ y C^* , las pastas tuvieron coloración marrón cuando se adicionó HH.

Debido a que se puede distinguir dos colores diferentes cuando ΔE es mayor que 5 (Wojciech y Maciej, 2011), la diferencia de color respecto al control es notable en las pastas con HH tanto crudas como cocidas.

Tabla 16 Efecto de la adición de harina de huaya sobre parámetros de color CIELAB de pasta fettuccine cruda y cocida elaborada con sémola de trigo

Pasta	L^*	a^*	b^*	$^\circ\text{Hue}$	C^*	ΔE
<i>Cruda</i>						
Control	61.87 ± 1.34^b	1.26 ± 0.07^a	23.57 ± 0.65^c	86.93 ± 0.27^c	23.60 ± 0.65^c	---
H_{20}	50.71 ± 1.94^a	8.57 ± 0.14^c	13.85 ± 0.46^b	58.25 ± 0.61^a	16.28 ± 0.45^b	17.29 ± 0.72^b
H_{30}	51.32 ± 1.68^a	6.32 ± 0.28^b	11.55 ± 0.49^a	61.33 ± 0.09^b	13.17 ± 0.57^a	15.96 ± 0.37^a
<i>Cocida</i>						
Control	73.86 ± 0.37^c	-0.64 ± 0.04^a	18.52 ± 0.58^c	91.98 ± 0.07^c	18.53 ± 0.58^b	---
H_{20}	48.41 ± 0.58^b	8.35 ± 0.23^b	15.03 ± 0.13^a	60.94 ± 0.72^b	17.19 ± 0.15^a	27.22 ± 0.91^a
H_{30}	43.83 ± 0.33^a	11.27 ± 0.10^c	16.40 ± 0.29^b	55.50 ± 0.56^a	19.90 ± 0.24^c	32.38 ± 0.50^b

Los valores son promedios $\pm$ desviación estándar ($n=3$). Las medias en cada fila con letras distintas indican que tienen diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Control: sólo sémola de trigo; H_{20} : harina de huaya (20 g) + sémola de trigo (80 g); H_{30} : harina de huaya (30 g) + sémola de trigo (70 g); L^* : luminosidad; a^* : rojo-verde; b^* : amarillo-azul; $^\circ\text{Hue}$: ángulo de tono; C^* : cromaticidad; ΔE : diferencia de color contra la pasta control.

3.4 Composición nutricional de las pastas

En la tabla 3.4 se muestra la composición nutricional de las pastas de ST sustituida con HH (crudas y cocidas). Entre las pastas crudas (base seca), no hubo diferencias significativas en el contenido de humedad, proteínas, carbohidratos y kilocalorías. Por otra parte, aunque las pastas crudas con HH tienen menor contenido de grasa y fibra cruda que el control, el contenido de minerales experimentó un aumento cuando se añade la harina de huaya. Esto pudo deberse a que la cantidad de minerales de HH supera a ST.

En caso de las pastas cocidas, la humedad es menor en las pastas frescas con HH que el control, coincidiendo con el porcentaje de absorción de agua. H_{20} y H_{30} cocidas (base seca) contienen menor porcentaje de cenizas, proteínas y fibra cruda que el control. Todas las pastas cocidas (base seca) sufren la tendencia de perder a más de la mitad del contenido de minerales. Sin embargo, las muestras con HH parecen tener la capacidad de retener las grasas ($H_{30}=0.54 \pm 0.01$ y $H_{20}=0.43 \pm 0.02$ %) ya que, solamente el control pierde grasa. La disminución de nutrientes puede estar relacionado con la pérdida de sólidos por cocción. El porcentaje de carbohidratos de las pastas con HH cocidas (base seca) ($H_{20}=74.79 \pm 0.46$ y $H_{30}=75.34 \pm 0.51$ %) no tienen diferencias significativas entre ellas y superan al control. En vista que las pastas con HH cocidas contienen más grasas y carbohidratos, su aporte energético es mayor que la pasta de ST.

El índice de hidrólisis (desde 76.53 ± 4.24 hasta 84.72 ± 6.66) e índice glucémico estimado (a partir de 81.72 ± 2.3 hasta 86.22 ± 3.65) determinado en pastas cocidas (base seca), no presentaron diferencias significativas entre el control y las pastas con HH. Normalmente el IG de las pastas está atribuido a su estructura y la accesibilidad de las enzimas digestivas (Petitot et al, 2009), no obstante, también hay otros factores que pueden estar relacionados con la digestión de carbohidratos, tales como: la encapsulación de los gránulos de almidón por fibras y proteínas, la estructura del almidón y su relación amilosa/amilopectina (Lehmann y Robin, 2007; Petitot et al, 2009). La amilopectina es digerida más rápidamente que la amilosa, puesto que las hidrolasas degradan a la amilopectina a fracciones más pequeñas como dextrinas (Lehmann y Robin, 2007; Aravind et al., 2011). Del almidón total de la ST, aproximadamente del 20 a 30 % es amilosa, mientras que el almidón restante (70 a 80 %) es amilopectina (Lafiandra et al., 2010). En caso de HH, contiene 39.13 ± 0.35 % de amilosa y 60.87 ± 0.36 % de amilopectina (Moo-Huchin et al., 2020). Ya que la diferencia

entre la relación amilosa/amilopectina de ST y HH es de al menos 10 % este podría ser el motivo por el cual la IH e IG_E no cambia al agregar HH a la formulación de la pasta. Los resultados de IH e IG_E de pastas control (ST) coinciden con los datos reportados por Osorio-Díaz et al, (2008). Los valores de IG_E de las pastas con HH se pueden comparar con lo reportado en pastas con harina de germinado de quinua (Xing et al., 2023).

Tabla 17 Composición nutricional de pasta de sémola de trigo sustituida con harina de huaya

Característica	Control	H ₂₀	H ₃₀
<i>Pasta cruda*</i>			
Humedad (%)	12.04 ± 0.19 ^a	11.82 ± 0.17 ^a	11.74 ± 0.21 ^a
Cenizas (%)	0.76 ± 0.02 ^a	1.08 ± 0.01 ^b	1.32 ± 0.03 ^c
Grasas (%)	1.02 ± 0.04 ^c	0.40 ± 0.02 ^a	0.49 ± 0.02 ^b
Proteína (%)	13.70 ± 0.56 ^a	13.70 ± 0.19 ^a	13.97 ± 0.19 ^a
Fibra cruda (%)	3.25 ± 0.28 ^b	2.28 ± 0.11 ^a	2.40 ± 0.14 ^a
Carbohidratos (%)	72.34 ± 0.39 ^a	72.88 ± 0.14 ^a	73.56 ± 1.29 ^a
Kal (g/100 g)	352.83 ± 0.49 ^a	349.74 ± 0.40 ^a	354.31 ± 4.76 ^a
<i>Pasta cocida*</i>			
Humedad (% PF)	63.27 ± 0.69 ^c	55.86 ± 0.59 ^a	60.07 ± 1.42 ^b
Cenizas (%)	0.31 ± 0.01 ^c	0.28 ± 0.02 ^b	0.23 ± 0.01 ^a
Grasas (%)	0.34 ± 0.01 ^a	0.43 ± 0.02 ^b	0.54 ± 0.01 ^c
Proteína (%)	14.23 ± 0.19 ^b	12.77 ± 0.38 ^a	12.24 ± 0.38 ^a
Fibra cruda (%)	2.75 ± 0.14 ^b	2.03 ± 0.04 ^a	2.23 ± 0.04 ^a
Carbohidratos (%)	73.03 ± 0.14 ^a	74.79 ± 0.46 ^b	75.34 ± 0.51 ^b
IH	84.72 ± 6.66 ^a	83.26 ± 6.18 ^a	76.53 ± 4.24 ^a
IG _e	86.22 ± 3.65 ^a	85.43 ± 3.39 ^a	81.72 ± 2.33 ^a
Kal (g/100 g PF)	129.39 ± 2.21 ^a	156.15 ± 1.87 ^c	141.68 ± 4.97 ^b
	Harina de huaya*	Sémola de trigo duro*	
Humedad (%)	12.71 ± 0.22 ^b	11.85 ± 0.06 ^a	
Cenizas (%)	3.24 ± 0.10 ^b	0.66 ± 0.03 ^a	
Grasas (%)	0.64 ± 0.03 ^a	1.08 ± 0.04 ^b	
Proteína (%)	10.50 ± 0.41 ^a	13.97 ± 0.56 ^b	
Fibra cruda (%)	1.95 ± 0.07 ^a	2.70 ± 0.14 ^b	
Carbohidratos (%)	72.81 ± 0.47 ^a	72.57 ± 0.43 ^a	
Kal (g/100 g)	339.40 ± 0.85 ^a	355.34 ± 0.50 ^b	

* Los valores para las muestras se expresan en base seca. Los valores son promedios ± desviación estándar (n=3). Las medias entre las filas con letras distintas indican que tienen diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Control: sólo sémola de trigo; H₂₀: harina de huaya (20 g) + sémola de trigo (80 g); H₃₀: harina de huaya (30 g) + sémola de trigo (70 g). PF: pasta fresca. IH=índice de hidrólisis, IG_E= índice glucémico estimado.

3.5 Digestibilidad de proteínas (DIP)

La digestibilidad de proteínas es un indicador importante para evaluar la calidad nutricional de productos alimenticios, puesto que mide la capacidad de las proteínas para ser digeridas y absorbidas por el organismo (De Pasquale et al., 2021).

En la figura 3.3, se reporta el porcentaje de digestibilidad de proteínas *in vitro* de las muestras de pastas cocidas. Los valores de DIP (%) de las pastas elaboradas H20 (66.88 ± 1.70 %) y H30 (61.96 ± 0.37 %) no tuvieron diferencias significativas y ambas tienen valores más altos que el control (55.42 ± 1.68 %). La digestibilidad de proteínas en diferentes productos alimenticios puede variar debido a diferencias en las propiedades de sus proteínas, tales como: la unión de aminoácidos o la misma estructura de la proteína. De igual forma, la presencia de componentes no proteicos (fibra dietética) y antinutrientes (fitatos y taninos) que afectan la digestión (Kamble et al., 2021).

Usualmente, en pastas de sémola de trigo, el gluten forma una red continua de proteínas que atrapa, encapsula e interactúa con el almidón a través de varios enlaces peptídicos y covalentes, dándole a la pasta su característica estructura (Sharma et al., 2021). Durante el proceso de cocción, el gluten coagula con gránulos de almidón atrapados, tiene una estructura lo suficientemente compacta que impide la accesibilidad de las proteasas para llegar su sitio activo en la matriz del alimento, lo cual es importante para su digestibilidad (Hoehnel et al., 2022). Cuando se agrega otras harinas a la formulación de la masa, afecta el comportamiento fisicoquímico en las proteínas del gluten a causa del cambio en su composición (Tolve et al., 2020).

Por consiguiente, el almidón de almendra de huaya afecta la interacción almidón de trigo-proteína que pueden interferir en la estructura continua de la pasta y provoca ciertas grietas. Estas imperfecciones en la pasta permiten que las enzimas digestivas (proteasas) accedan fácilmente a hidrolizar los enlaces peptídicos y aumenta la digestibilidad de sus proteínas (Sharma et al., 2021; Laleg et al., 2016).

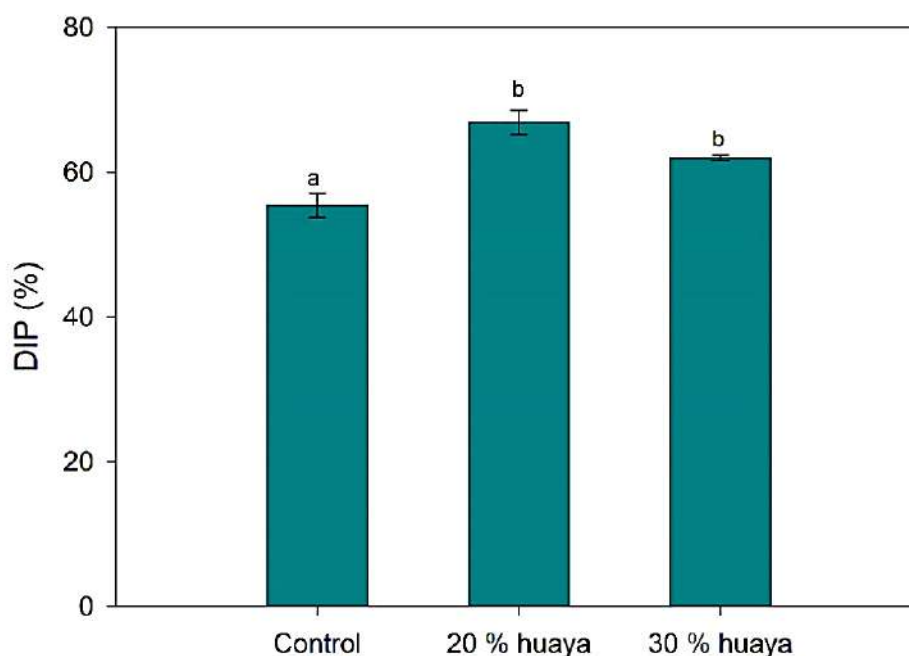


Figura 18. Porcentaje de digestibilidad *in vitro* de proteínas de pastas cocidas elaborados con ST y harina de huaya.

3.6 Análisis sensorial de pastas

En la figura 3.4 se muestra los resultados de la prueba de aceptabilidad sensorial con respecto a la apariencia, textura, olor y aceptabilidad general de las pastas H₂₀ y H₃₀ cocidas. Estos atributos son muy importantes ya que influyen en la percepción sensorial del consumidor (Ribeiro et al., 2022). Al sustituir ST por HH, se logró obtener pastas cocidas (H₂₀ y H₃₀) con aroma y textura similares al control. Se encontraron diferencias significativas en la apariencia de las pastas con HH en comparación al control, esto debido a que la incorporación de HH a las pastas proporciona un color marrón a las pastas, tal como se reporta en la tabla 3.3. En términos de aceptabilidad general, las pastas con H₂₀ y control obtuvieron puntuaciones similares (8.0) indicando que fueron calificados como “me gusta mucho”. Sin embargo, la pasta H₃₀ obtuvo un valor promedio de 7.6 (cercano a 8) en aceptabilidad general, por lo cual también puede considerarse como un producto de calidad. Por tanto, HH puede ser un ingrediente alternativo favorable para sustituir a ST en la elaboración de pastas fettuccine sin afectar su aceptabilidad general.

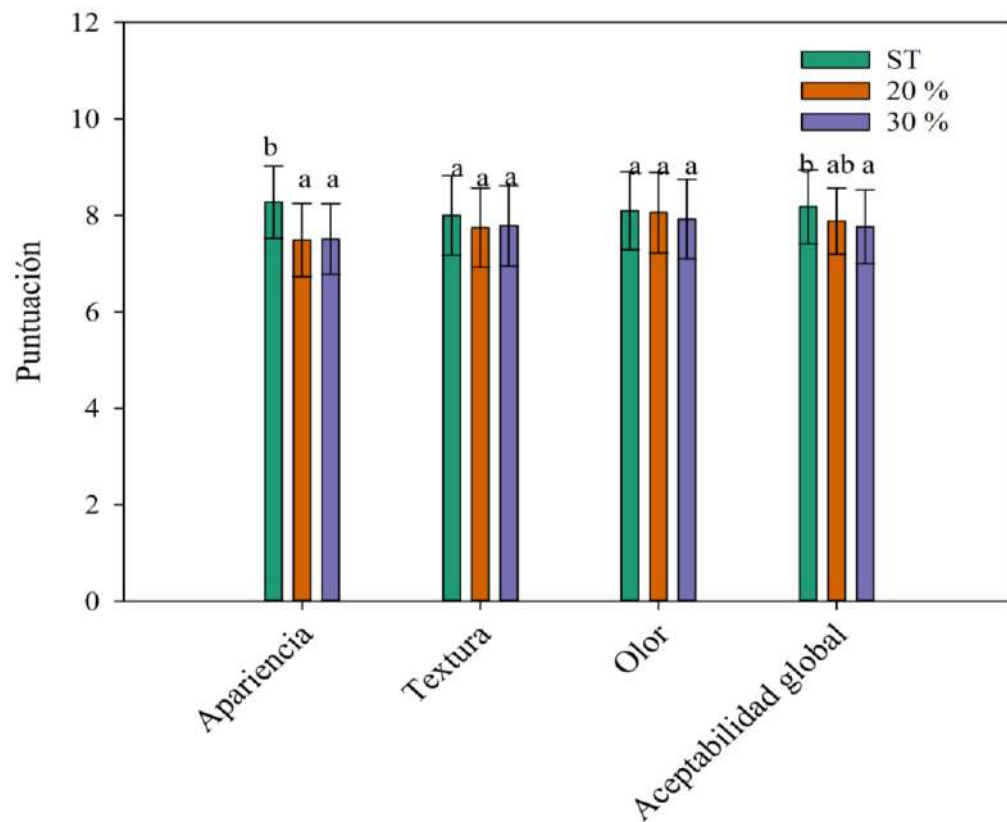


Figura 19 Aceptación de apariencia, textura, olor y aceptabilidad general de pastas cocidas elaboradas con ST y HH

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

La sustitución de la sémola de trigo con 20 y 30 % de harina de huaya resultó en una masa cohesiva con facilidad de amasado, laminado y corte de pasta fettuccine. Los tiempos de cocción óptimos para la pasta control, pastas que contienen 20 y 30 % de harina de huaya, fueron de 7.83, 6.17 y 4.17 min, respectivamente. Las pastas con harina de huaya en niveles de 20 y 30 % mostraron buena calidad de cocción, ya que sus valores de pérdida por cocción e índice de hinchamiento se encontraron por debajo de los límites de referencia. La sustitución de ST por HH en la formulación afectó las propiedades nutricionales y físicas (color y perfil TPA) de la pasta. Los valores de los índices glucémico y de hidrólisis son similares entre las pastas. Sin embargo, se encontró que la adición de 20 y 30 % de HH a la pasta mejora la digestibilidad *in vitro* de proteínas. HH se puede incorporar a las pastas de ST sin afectar su aceptación general hasta con 30 % de sustitución. Las almendras de huaya como subproducto se pueden aprovechar como harina alternativa para el desarrollo de pastas tipo fettuccine con características de calidad de cocción, propiedades nutricionales, físicas y sensoriales aceptables, sustituyendo al trigo hasta en un 30 % de HH.

ANEXO

❖ Tiempo óptimo de cocción

El fettuccine seco (5 cm de largo) fue cocido en agua purificada (10 g /100 mL) a 95 °C. TOC se alcanzó cuando desapareció la línea blanca visible en el centro de la pasta tras su compresión entre dos placas de vidrio (Huang *et al.*, 2022).

❖ Pérdida de sólidos por cocción

Durante la cocción, parte de la pasta se disuelve en el agua, cuando mejor es la red de proteína formada, menor será la pérdida por cocción. Este parámetro se determina gravimétricamente, en un crisol (a peso constante) se añadió una alícuota de 20 mL de agua de cocción drenada y se evaporó a 100 °C por 12 h en un horno (). La pérdida por cocción se expresó como el porcentaje del agua de cocción evaporada (AACC, 2000; Chetrariuv y Dabija, 2021).

❖ Índice de hinchamiento y absorción de agua

El índice de hinchamiento de la pasta cocida (g de agua por gramo de pasta seca) y la absorción de agua (g de agua absorbida por 10 g de pasta) fue determinado de acuerdo al procedimiento descrito por Chetrariuv y Dabija (2021).

❖ Peso de pasta cocida

Es el peso ganado por la pasta durante la cocción e indica la cantidad de agua que es absorbida y por lo tanto es un índice de la habilidad de la pasta para hincharse. Cada muestra de pasta se sometió al tiempo de cocción determinado previamente, después se pesó y se calculó el peso tras la cocción expresado g/10 g.

❖ Metodología de azúcares reductores

Para la cuantificación de azúcares reductores (Miller, 1959), se preparó el reactivo DNS disolviendo 0.8 g de NaOH en 20 mL de agua destilada; luego se adicionaron 15 g de tartrato de sodio y potasio tetra hidratado más 0.5 g de DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico) y se mezcló; entonces, la solución mezclada fue aforada a 50 mL con agua destilada y se almacenó en un frasco ámbar a 4°C. Para el análisis del contenido de azúcares reductores, previamente 150 mg de pasta cocida liofilizada fue extraído con 30 mL de etanol 75 % en

agitación durante 15 min con posterior filtración con papel filtro. De los tubos eppendorf con muestra digerida de cada tiempo (0, 1, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120 y 180), se tomó una alícuota de 0.5 mL de la solución y fue mezclada con 0.5 mL del reactivo DNS en un tubo de ensayo, la mezcla se expuso a ebullición por 10 min en baño maría e inmediatamente la solución fue enfriada en agua corriente para detener la reacción. A cada tubo se adicionaron 5 mL de agua destilada y la solución fue agitada en vortex, dejando reposar por 15 min para medir la absorbancia a 540 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Vis (Agilent Cary 60, Santa Clara, CA). La concentración de los azúcares reductores fue calculada usando una curva estándar de glucosa (500-4000 ppm).

BIBLIOGRAFÍA

- Ainsa, A., Honrado, A., Marquina, P., Beltrán, J. A., y Calanche, J. (2022). Influence of Seaweeds on the Quality of Pasta as a Plant-Based Innovative Food. *Foods*, 11(16), 2525.
- Allen, L. H., De Benoist, B., Dary, O., y Hurrell, R. (2017). Guías para la fortificación de alimentos con micronutrientes.
- Aravind, N., Sissons, M., y Fellows, C. (2011). Can variation in durum wheat pasta protein and starch composition affect in vitro starch hydrolysis? *Food Chemistry*, 124(3), 816-821.
- Armendáriz-Sanz, J. L. (2020). *Procesos de preelaboración y conservación en cocina 2.ª edición 2020*. Ediciones Paraninfo, SA.
- Atkinson, F. S., Brand-Miller, J. C., Foster-Powell, K., Buyken, A. E., y Goletzke, J. (2021). International tables of glycemic index and glycemic load values 2021: a systematic review. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 114(5), 1625-1632.
- Attanzio, A., Diana, P., Barraja, P., Carbone, A., Spanò, V., Parrino, B., Parrino, B., Cascioferro, S., Allegra, M., Cirrincione, G., Tesoriere, L., y Montalbano, A. (2019). Quality, functional and sensory evaluation of pasta fortified with extracts from *Opuntia ficus-indica* cladodes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(9), 4242-4247.
- Augustin, L. S., Kendall, C. W., Jenkins, D. J., Willett, W. C., Astrup, A., Barclay, A. W., Björck, I., Brand-Miller, J. C., Brighenti, F., Buyken, A. E., Ceriello, A., La Vecchia, C., Livesey, G., Liu, S., Riccardi, G., Rizkalla, S. W., Sievenpiper, J. L., Trichopoulou, A., Wolever, T. M., Baer-Sinnott, S., y Poli, A. (2015). Glycemic index, glycemic load and glycemic response: an International Scientific Consensus Summit from the International Carbohydrate Quality Consortium (ICQC). *Nutrition, Metabolism and cardiovascular diseases*, 25(9), 795-815.
- Barber, E., Houghton, M. J., Visvanathan, R., y Williamson, G. (2022). Measuring key human carbohydrate digestive enzyme activities using high-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection. *Nature Protocols*, 1-38.
- Bello-Pérez, L. A., Cabello-Vazquez, J. A., Carmona-García, R., Patiño-Rodríguez, O., y Álvarez-Ramírez, J. (2022). Preparation of Functional Pasta Supplemented with

- Amaranth Pregelatinized Extruded Flour. *Frontiers in Food Science and Technology*, 2, 881714.
- Bhutia, Y. D., y Ganapathy, V. (2018). Protein digestion and absorption. In *Physiology of the gastrointestinal tract* (pp. 1063-1086). Academic Press.
- Bianchi, F., Giuberti, G., Cervini, M., y Simonato, B. (2022a). Fortification of Durum Wheat Fresh Pasta with Maqui (*Aristotelia chilensis*) and Its Effects on Technological, Nutritional, Sensory Properties, and Predicted Glycemic Index. *Food and Bioprocess Technology*, 15(7), 1563-1572.
- Bianchi, F., Tolve, R., Rainero, G., Bordiga, M., Brennan, C. S., y Simonato, B. (2021). Technological, nutritional and sensory properties of pasta fortified with agro-industrial by-products: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(9), 4356-4366.
- Björck, I., Granfeldt, Y., Liljeberg, H., Tovar, J., y Asp, N. G. (1994). Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. *The American journal of clinical nutrition*, 59(3), 699S-705S.
- Bonacci, S., Di Stefano, V., Sciacca, F., Buzzanca, C., Virzì, N., Argento, S., y Melilli, M. G. (2023). Hemp Flour Particle Size Affects the Quality and Nutritional Profile of the Enriched Functional Pasta. *Foods*, 12(4), 774.
- Bornhorst, G. M., y Paul Singh, R. (2014). Gastric digestion *in vivo* and *in vitro*: how the structural aspects of food influence the digestion process. *Annual review of food science and technology*, 5, 111-132.
- Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technol.*, 32, 62-66.
- Boye, J., Wijesinha-Bettoni, R., y Burlingame, B. (2012). Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *British Journal of Nutrition*, 108(S2), S183-S211.
- Brand-Miller, J., y Holt, S. (2004). Testing the glycaemic index of foods: *in vivo*, not *in vitro*. *European journal of clinical nutrition*, 58(4), 700-701.
- Bustos, M. C., Perez, G. T., y Leon, A. E. (2015). Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients. *Rsc Advances*, 5(39), 30780-30792.
- Butts, C. A., Monro, J. A., y Moughan, P. J. (2012). *In vitro* determination of dietary protein and amino acid digestibility for humans. *British Journal of Nutrition*, 108(S2), S282-S287.

- Bystrom, L. M. (2012). The potential health effects of *Melicoccus bijugatus* Jacq. fruits: Phytochemical, chemotaxonomic and ethnobotanical investigations. *Fitoterapia*, 83(2), 266-271.
- Bystrom, L. M., Lewis, B. A., Brown, D. L., Rodriguez, E., y Obendorf, R. L. (2009). Phenolics, sugars, antimicrobial and free-radical-scavenging activities of *Melicoccus bijugatus* Jacq. fruits from the Dominican Republic and Florida. *Plant foods for human nutrition*, 64(2), 160-166.
- Bystrom, L. M., Lewis, B. A., Brown, D. L., Rodriguez, E., y Obendorf, R. L. (2008). Characterisation of phenolics by LC–UV/Vis, LC–MS/MS and sugars by GC in *Melicoccus bijugatus* Jacq. ‘Montgomery’fruits. *Food chemistry*, 111(4), 1017-1024.
- Çabuk, B., y Yılmaz, B. (2020). Fortification of traditional egg pasta (erişte) with edible insects: Nutritional quality, cooking properties and sensory characteristics evaluation. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 2750-2757.
- Cannella, C., y Pinto, A. (2006). The nutritional value of pasta. *Tecnica Molitoria International*, 57(5), 93 - 94.
- Carpentieri, S., Larrea-Wachtendorff, D., Donsì, F., y Ferrari, G. (2022). Functionalization of pasta through the incorporation of bioactive compounds from agri-food by-products: Fundamentals, opportunities, and drawbacks. *Trends in Food Science & Technology*.
- Cecilia, J. A., García-Sancho, C., Maireles-Torres, P. J., y Luque, R. (2019). Industrial food waste valorization: a general overview. *Biorefinery: Integrated Sustainable Processes for Biomass Conversion to Biomaterials, Biofuels, and Fertilizers*, 253-277.
- Chetrariu, A., y Dabija, A. (2021). Quality characteristics of spelt pasta enriched with spent grain. *Agronomy*, 11(9), 1824.
- Coles, L. T., Moughan, P. J., y Darragh, A. J. (2005). In vitro digestion and fermentation methods, including gas production techniques, as applied to nutritive evaluation of foods in the hindgut of humans and other simple-stomached animals. *Animal Feed Science and Technology*, 123, 421-444.
- Colonna, P., Barry, J. L., Cloarec, D., Bornet, F., Gouilloud, S., y Galmiche, J. P. (1990). Enzymic susceptibility of starch from pasta. *Journal of cereal science*, 11(1), 59-70.

- Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas opera en México (2023). México suma 4 años más de dependencia en granos y oleaginosas [Online] (Actualizado 9 enero 2023). Disponible en: http://www.oleaginosas.org/art_815.shtml
- Crane, J. H., y Balerdi, C. F. (2016). Mamoncillo (Genip) growing in the Florida home Landscape.
- Cunin, C., Handschin, S., Walther, P., y Escher, F. (1995). Structural changes of starch during cooking of durum wheat pasta. *LWT-Food Science and Technology*, 28(3), 323-328.
- Dallas, D. C., Sanctuary, M. R., Qu, Y., Khajavi, S. H., Van Zandt, A. E., Dyandra, M., Frese, S. A., Barile, D., y German, J. B. (2017). Personalizing protein nourishment. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(15), 3313-3331.
- Dary, O., Mora, J. O., y Caballero, B. (2013). Food Fortification: Technological Aspects. Encyclopedia of Human Nutrition.
- De Noni, I., y Pagani, M. A. (2010). Cooking properties and heat damage of dried pasta as influenced by raw material characteristics and processing conditions. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(5), 465-472.
- De Pasquale, I., Verni, M., Verardo, V., Gómez-Caravaca, A. M., y Rizzello, C. G. (2021). Nutritional and functional advantages of the use of fermented black chickpea flour for semolina-pasta fortification. *Foods*, 10(1), 182.
- Del Nobile, M. A., Baiano, A., Conte, A., y Mocci, G. (2005). Influence of protein content on spaghetti cooking quality. *Journal of Cereal Science*, 41(3), 347-356.
- Desai, A. S., Brennan, M. A., y Brennan, C. S. (2018). Effect of fortification with fish (*Pseudophycis bachus*) powder on nutritional quality of durum wheat pasta. *Foods*, 7(4), 62.
- Desai, A. S., Brennan, M. A., y Brennan, C. S. (2019). Influence of semolina replacement with salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) powder on the physicochemical attributes of fresh pasta. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(5), 1497-1505.
- Di Pede, G., Dodi, R., Scarpa, C., Brighenti, F., Dall'Asta, M., y Scazzina, F. (2021). Glycemic index values of pasta products: An Overview. *Foods*, 10(11), 2541.
- Dias, M. I., Ferreira, I. C., y Barreiro, M. F. (2015). Microencapsulation of bioactives for food applications. *Food & function*, 6(4), 1035-1052.

- Dodd, H., Williams, S., Brown, R., y Venn, B. (2011). Calculating meal glycemic index by using measured and published food values compared with directly measured meal glycemic index. *The American journal of clinical nutrition*, 94(4), 992-996.
- Dona, A. C., Pages, G., Gilbert, R. G., y Kuchel, P. W. (2010). Digestion of starch: In vivo and in vitro kinetic models used to characterise oligosaccharide or glucose release. *Carbohydrate Polymers*, 80(3), 599-617.
- Drabińska, N., Nogueira, M., y Szmatończ, B. (2022). Valorisation of Broccoli By-Products: Technological, Sensory and Flavour Properties of Durum Pasta Fortified with Broccoli Leaf Powder. *Molecules*, 27(15), 4672.
- Drechsler, K. C., y Bornhorst, G. M. (2018). Modeling the softening of carbohydrate-based foods during simulated gastric digestion. *Journal of Food Engineering*, 222, 38-48.
- Drechsler, K. C., y Bornhorst, G. M. (2018). Modeling the softening of carbohydrate-based foods during simulated gastric digestion. *Journal of Food Engineering*, 222, 38-48.
- Eli-Cophie, D., Agbenorhevi, J. K., y Annan, R. A. (2017). Glycemic index of some local staples in Ghana. *Food Science & Nutrition*, 5(1), 131-138.
- El-Sohaimy, S. A., Brennan, M., Darwish, A. M., y Brennan, C. (2020). Physicochemical, texture and sensorial evaluation of pasta enriched with chickpea flour and protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(1), 28-34.
- Englyst, H. N., Kingman, S. M., y Cummings, J. H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European journal of clinical nutrition*, 46, S33-50.
- Espinosa-Solis, V., Zamudio-Flores, P. B., Tirado-Gallegos, J. M., Ramírez-Mancinas, S., Olivas-Orozco, G. I., Espino-Díaz, M., Hernández-González, M., García-Cano, V. G., Sánchez-Ortíz, O., Buenrostro-Figueroa, J. J., y Baeza-Jiménez, R. (2019). Evaluation of cooking quality, nutritional and texture characteristics of pasta added with oat bran and apple flour. *Foods*, 8(8), 299.
- Estrella, M. E., Lopez, R. C., y Uvidia, H. A. (2022). Índice de calidad de la harina de trigo de tres variedades (Cotacachi, Zhalaó y Cojitambo) y su efecto en la comercialización. *ECA Sinergia*, 13(2), 7-16.
- Fannon, J. E., Shull, J. M., y BeMiller, J. N. (1993). Interior channels of starch granules. *Cereal chemistry*, 70, 611-611.
- Fardet, A., Hoebler, C., Baldwin, P. M., Bouchet, B., Gallant, D. J., y Barry, J. L. (1998). Involvement of the Protein Network in their vitro Degradation of Starch from

- Spaghetti and Lasagne: a Microscopic and Enzymic Study. *Journal of Cereal Science*, 27(2), 133-145
- Faustino, M., Veiga, M., Sousa, P., Costa, E. M., Silva, S., y Pintado, M. (2019). Agro-food byproducts as a new source of natural food additives. *Molecules*, 24(6), 1056.
- Fehér, A., Gazdecki, M., Véha, M., Szakály, M., y Szakály, Z. (2020). A Comprehensive Review of the Benefits of and the Barriers to the Switch to a Plant-Based Diet. *Sustainability*, 12(10).
- Ferrer-Mairal, A., Penalva-Lapiente, C., Iglesia, I., Urtasun, L., De Miguel-Etayo, P., Remón, S., Cortés, E., y Moreno, L. A. (2012). In vitro and in vivo assessment of the glycemic index of bakery products: Influence of the reformulation of ingredients. *European journal of nutrition*, 51, 947-954.
- Fiorda, F. A., Soares Jr, M. S., da Silva, F. A., Grosmann, M. V., y Souto, L. R. (2013). Microestructure, texture and colour of gluten-free pasta made with amaranth flour, cassava starch and cassava bagasse. *LWT-Food Science and Technology*, 54(1), 132-138.
- Foschia, M., Peressini, D., Sensidoni, A., y Brennan, C. S. (2013). The effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products. *Journal of cereal science*, 58(2), 216-227.
- Franco-Mijares, A. C., Cardona-Pimentel, G., Villegas-Canchola, K. P., Vázquez- Flores, A. L., Jáuregui-Vega, P. I., Jaramillo-Barrón, E., y Nava, A. (2013). Sobre el índice glucémico y el ejercicio físico en la nutrición humana. *El residente*, 8(3), 89-96.
- Frei, M., Siddhuraju, P., y Becker, K. (2003). Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. *Food chemistry*, 83(3), 395-402.
- Gil, Á. (2010). Tratado de nutrición. Tomo II, Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos, *Editorial Médica Panamericana*, Capítulo, 20, 535
- Gil, Á., Martínez de Victoria, E., y Olza, J. (2015). Indicadores de evaluación de la calidad de la dieta. *Rev Esp Nutr Comunitaria*, 2(1), 127-43.
- Gilani, G. S., Xiao, C. W., y Cockell, K. A. (2012). Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *British Journal of Nutrition*, 108(S2), S315-S332.
- González-Torres, L., Téllez-Valencia, A., Sampedro, J. G., y Nájera, H. (2007). Las proteínas en la nutrición. *Revista salud pública y nutrición*, 8(2), 1-7.

- Gofii, I., Garcia-Alonso, A., y Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition research*, 17(3), 427-437.
- Gracia-Nava, M. A. (2009). Cuantificación de fenoles y flavonoides totales en extractos naturales. *Universidad Autónoma de Querétaro. Rev Acad*, 1-4.
- Granito, M., Pérez, S., y Valero, Y. (2014). Calidad de cocción, aceptabilidad e índice glicémico de pasta larga enriquecida con leguminosas. *Revista chilena de nutrición*, 41(4), 425-432.
- Gulati, P., Li, A., Holding, D., Santra, D., Zhang, Y., y Rose, D. J. (2017). Heating reduces proso millet protein digestibility via formation of hydrophobic aggregates. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(9), 1952-1959.
- Gutteridge, J. y Halliwell, B. (2010). Antioxidants: Molecules, medicines, and myths. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 393 (4), 561-564.
- Haraldsson J. (2010). Development of a Method for Measuring Pasta Quality Parameters. Tesis de grado. School of Natural Sciences, Linnaeus University.
- Hatcher, D. W., Kruger, J. E., y Anderson, M. J. (1999). Influence of water absorption on the processing and quality of oriental noodles. *Cereal Chemistry*, 76(4), 566-572.
- Heneen, W. K., y Brismar, K. (2003). Structure of cooked spaghetti of durum and bread wheats. *Starch-Stärke*, 55(12), 546-557.
- Hleap, J. I., y Velasco, V. A. (2010). Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). *Biotecnología en el Sector agropecuario y agroindustrial*, 8(2), 46-56.
- Ho, L. H., y Che Dahri, N. (2016). Effect of watermelon rind powder on physicochemical, textural, and sensory properties of wet yellow noodles. *CyTA-Journal of Food*, 14(3), 465-472.
- Hoehnel, A., Bez, J., Petersen, I. L., Amarowicz, R., Juśkiewicz, J., Zannini, E., y Arendt, E. K. (2022). Combining high-protein ingredients from pseudocereals and legumes for the development of fresh high-protein hybrid pasta: enhanced nutritional profile. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(12), 5000-5010.
- Hoffman, J. R., y Falvo, M. J. (2004). Protein—which is best?. *Journal of sports science & medicine*, 3(3), 118.
- Horstmann, S. W., Lynch, K. M., y Arendt, E. K. (2017). Starch characteristics linked to gluten-free products. *Foods*, 6(4), 29.

- Huang, R., Huang, K., Guan, X., Zhang, J., y Zhang, P. (2022). Incorporation of defatted quinoa flour affects in vitro starch digestion, cooking and rheological properties of wheat noodles. *Journal of Cereal Science*, 108, 103542.
- Icard-Vernière, C., y Feillet, P. (1999). Effects of mixing conditions on pasta dough development and biochemical changes. *Cereal Chemistry*, 76(4), 558-565.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. (1991). VII Censo Agrícola-Ganadero 1991. México: INEGI
- International Pasta Organization. (2020). Pasta, world, consumption boom since the lockdown started 1 consumer out of 4 ate more, 25% export increase in 6 months [Online] (Actualizado 16 octubre 2020). Disponible en: <https://internationalpasta.org/news/pasta-world-consumption-boom-since-the-lockdown-started-1-consumer-out-of-4-ate-more-25-export-increase-in-6-months/>
- Irie, K., Maeda, T., Kazami, Y., Yoshida, M., y Hayakawa, F. (2018). Establishment of a sensory lexicon for dried long pasta. *Journal of Sensory Studies*, 33(4), e12438.
- Jalgaonkar, K., Jha, S. K., y Mahawar, M. K. (2018). Influence of incorporating defatted soy flour, carrot powder, mango peel powder, and moringa leaves powder on quality characteristics of wheat semolina-pearl millet pasta. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(4), e13575.
- Jeantet, R., Croguennec, T., Schuck, P., y Brulé, G. (2010). *Ciencia de los alimentos: Bioquímica-microbiología-procesos-productos*. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Jenkins, A. L., Lee, R., Wong, G. S., y Josse, R. (1983). Glycemic response to wheat products: reduced response to pasta but no effect of fiber. *Diabetes Care*, 6(2), 155-159.
- Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Taylor, R. H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J. M., Bowling, A. C., Newman, H. C., Jenkins, A. L., y Goff, D. V. (1981). Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *The American journal of clinical nutrition*, 34(3), 362-366.
- Jiménez-Rojas, M. I., Andueza-Noh, R. H., Potter, D., y Martínez-Castillo, J. (2019). Huaya India (*Melicoccus oliviformis* Kunth): domesticación y usos.
- Joye, I. (2019). Protein digestibility of cereal products. *Foods*, 8(6), 199.
- Juárez, C. (2022). Productos plant based, foco del piso de expo en THE FOOD TECH® SUMMIT & EXPO 2022. The Food Tech [Online] (Actualizado 6 octubre 2022).

- Disponible en: <https://thefoodtech.com/industria-alimentaria-hoy/asi-se-vivio-el-piso-de-expo-en-the-food-tech-summit-expo-2022/>
- Kamble, D. B., Singh, R., Rani, S., y Pratap, D. (2019). Physicochemical properties, in vitro digestibility and structural attributes of okara-enriched functional pasta. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12), e14232.
- Kamble, D. B., Singh, R., Rani, S., Upadhyay, A., Kaur, B. P., Kumar, N., y Thangalakshmi, S. (2021). Evaluation of structural, chemical and digestibility properties of multigrain pasta. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 1014-1026.
- Kasunmala, I. G. G., Navaratne, S. B., y Wickramasinghe, I. (2020). Effect of process modifications and binding materials on textural properties of rice noodles. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 21, 100217.
- Kim, E. H. J., Petrie, J. R., Motoi, L., Morgenstern, M. P., Sutton, K. H., Mishra, S., y Simmons, L. D. (2008). Effect of structural and physicochemical characteristics of the protein matrix in pasta on in vitro starch digestibility. *Food Biophysics*, 3(2), 229-234.
- Laboratorio Profeco (2017). Soltamos la sop. *Revista de consumidor - febrero 2017*, (480), 32-44 [Online].
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/190721/RC480_032-044-Estudio_PASTAS.pdf
- Lafiandra, D., Sestili, F., D'Ovidio, R., Janni, M., Botticella, E., Ferrazzano, G., Silvestri, M., Ranieri, R., y DeAmbrogio, E. (2010). Approaches for modification of starch composition in durum wheat. *Cereal chemistry*, 87(1), 28-34.
- Laleg, K., Barron, C., Santé-Lhoutellier, V., Walrand, S., y Micard, V. (2016). Protein enriched pasta: structure and digestibility of its protein network. *Food & function*, 7(2), 1196-1207.
- Le Roux, D., Vergnes, B., Chaurand, M., y Abecassis, J. (1995). A thermomechanical approach to pasta extrusion. *Journal of Food Engineering*, 26(3), 351-368.
- Lehmann, U., y Robin, F. (2007). Slowly digestible starch—its structure and health implications: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(7), 346-355.
- Lezcano, E. (2019). Cadena de las pastas alimenticias. *Informe Secretaría Agroindustria*, 1-28.
- Li, C., y Hu, Y. (2021). In vitro and animal models to predict the glycemic index value of carbohydrate-containing foods. *Trends in Food Science & Technology*.

- Littardi, P., Paciulli, M., Carini, E., Rinaldi, M., Rodolfi, M., & Chiavaro, E. (2020). Quality evaluation of chestnut flour addition on fresh pasta. *Lwt*, 126, 109303.
- Liu, T., Hamid, N., Kantono, K., Pereira, L., Farouk, M. M., y Knowles, S. O. (2016). Effects of meat addition on pasta structure, nutrition and in vitro digestibility. *Food Chemistry*, 213, 108-114.
- Lomuscio, E., Bianchi, F., Cervini, M., Giuberti, G., Simonato, B., y Rizzi, C. (2022). Durum Wheat Fresh Pasta Fortification with Trub, a Beer Industry By-Product. *Foods*, 11(16), 2496.
- López, J. C. C., Sachdev, H., Thepanondh, S., y Herrera, Y. A. Q. (2021). Morphological and Physico-Chemical Characterization of Fruit of *Melicoccus Bijugatus* Jacq. *Bangladesh Journal of Botany*, 50(2), 387-394.
- López-Barreras F. (2007). Preelaboración y conservación de alimentos. *Editorial Libros en Red*. Madrid, España. 240 p.
- López-Sáez, J. A., y Pérez-Soto, J. (2010). Etnobotánica medicinal y parasitosis intestinales en la isla de Ometepe, Nicaragua. *Polibotánica*, (30), 137-161.
- Mannar, M. V., y Khan, N. A. (2016). Food Fortification: Rationale and Methods. *Encyclopedia of Human Nutrition*.
- Martin, F. W., Campbell, C. W., y Ruberté, R. M. (1987). *Perennial edible fruits of the tropics: an inventory* (No. 642). US Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
- Martín-Esparza, M. E., Raigón, M. D., Raga, A., y Albors, A. (2018). High fibre tiger nut pasta and xanthan gum: Cooking quality, microstructure, physico-chemical properties and consumer acceptance. *Food science and biotechnology*, 27, 1075-1084.
- Martínez, C. S. (2010). *Utilización de pastas como alimentos funcionales* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Martínez, C. S., Ribotta, P. D., León, A. E., y Anon, M. C. (2007). Physical, sensory and chemical evaluation of cooked spaghetti. *Journal of Texture Studies*, 38(6), 666-683.
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255.

- Messia, M. C., Cuomo, F., Falasca, L., Trivisonno, M. C., De Arcangelis, E., y Marconi, E. (2021). Nutritional and technological quality of high protein pasta. *Foods*, 10(3), 589.
- Michalak-Majewska, M., Teterycz, D., Muszyński, S., Radzki, W., y Sykut-Domańska, E. (2020). Influence of onion skin powder on nutritional and quality attributes of wheat pasta. *PLoS One*, 15(1), e0227942.
- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical chemistry*, 31(3), 426-428.
- Monreal-Ávila, R., Sánchez-Arredondo, N. G., Burs-Griffith, A., Castro-Castro, I., Cruz-Blackledge, G. A., Zamora-Gastélum, M., Elenes-Angulo, R. J., y León-Gastélum, A. C. (2023). [Sesiones legislativas de la Cámara de Senadores]. http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2023/03/asun_4520623_20230322_1679506771.pdf
- Moo-Huchin, V. M., Ac-Chim, D. M., Chim-Chi, Y. A., Rios-Soberanis, C. R., Ramos, G., Yee-Madeira, H. T., Ortiz-Fernández, A., Estrada-León, R. J., y Perez-Pacheco, E. (2020). Huaya (*Melicoccus bijugatus*) seed flour as a new source of starch: physicochemical, morphological, thermal and functional characterization. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(6), 3299-3309.
- Moo-Huchin, V. M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vázquez, E., y Vargas, M. D. L. V., Betancur-Ancona, D. y Sauri-Duch, E. (2014). Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food chemistry*, 152, 508-515.
- Moore, S. A., Ai, Y., Chang, F., y Jane, J. L. (2015). Effects of alpha-amylase reaction mechanisms on analysis of resistant-starch contents. *Carbohydrate polymers*, 115, 465-471.
- Mu, J., Qi, Y., Gong, K., Chen, Z., Brennan, M. A., Ma, Q., Wang, J., Gen, Y., Lv, W., y Brennan, C. S. (2022). Influence of substituting wheat flour with quinoa flour on quality characteristics and in vitro starch and protein digestibility of fried-free instant noodles. *LWT*, 165, 113686.
- Nilusha, R. A. T., Jayasinghe, J. M. J. K., Perera, O. D. A. N., y Perera, P. I. P. (2019). Development of pasta products with nonconventional ingredients and their effect

- on selected quality characteristics: A brief overview. *International Journal of Food Science*, 2019.
- Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., Mendoza-Vinalay, M., Tovar, J., y Bello-Pérez, L. A. (2008). pasta added with chickpea flour: chemical composition, in vitro starch digestibility and predicted glycemic index. *CYTA-Journal of Food*, 6(1), 6-12.
- Pagliaro, A. (2019). Pasta with cholesterol-lowering effect on human health.
- Parker, H. W., y Vadiveloo, M. K. (2019). Diet quality of vegetarian diets compared with nonvegetarian diets: a systematic review. *Nutrition reviews*, 77(3), 144-160.
- Pasta soluciones SRL. (s. f.). Maquinarias de producciones [Online]. Disponible en: <http://www.pastasoluciones.com/maquinarias-producciones.html>
- Petitot, M., Boyer, L., Minier, C., y Micard, V. (2010). Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International*, 43(2), 634-641.
- Petitot, M., Brossard, C., Barron, C., Larré, C., Morel, M. H., y Micard, V. (2009). Modification of pasta structure induced by high drying temperatures. Effects on the in vitro digestibility of protein and starch fractions and the potential allergenicity of protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 116(2), 401-412.
- Rachman, A., Brennan, M. A., Morton, J., y Brennan, C. S. (2020). Gluten-free pasta production from banana and cassava flours with egg white protein and soy protein addition. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(8), 3053-3060.
- Reeds, P. J. (2000). Dispensable and indispensable amino acids for humans. *The Journal of Nutrition*, 130(7), 1835S-1840S.
- Reinhardt, S. L., Boehm, R., Blackstone, N. T., El-Abbadi, N. H., McNally Brandow, J. S., Taylor, S. F., y DeLonge, M. S. (2020). Systematic review of dietary patterns and sustainability in the United States. *Advances in Nutrition*, 11(4), 1016-1031.
- Ribeiro, A. R., Madeira, T., Botelho, G., Martins, D., Ferreira, R. M., Silva, A. M., Cardoso, S. M., y Costa, R. (2022). Brown algae fucus vesiculosus in pasta: Effects on textural quality, cooking properties, and sensorial traits. *Foods*, 11(11), 1561.
- Ritudomphol, O., y Luangsakul, N. (2019). Optimization of processing condition of instant rice to lower the glycemic index. *Journal of food science*, 84(1), 101-110.
- Rivero-Pino, F., Espejo-Carpio, F. J., y Guadix, E. M. (2020). Antidiabetic food-derived peptides for functional feeding: Production, functionality and in vivo evidences. *Foods*, 9(8), 983.

- Rojano, B. (2004). *Nuevas Fuentes de Antioxidantes Naturales*, 194.
- Sá, A. G. A., Moreno, Y. M. F., y Carciofi, B. A. M. (2020). Food processing for the improvement of plant proteins digestibility. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(20), 3367-3386.
- Samarakoon, E. R. J. (2020). Impact of physical modifications on starch nutritional fractions: Rapidly Digestible Starch, Slowly Digestible Starch and Resistant Starch. *Journal of Food Bioactives*, 12.
- Saqib, N. U., Sharma, H. B., Baroutian, S., Dubey, B., y Sarmah, A. K. (2019). Valorisation of food waste via hydrothermal carbonisation and techno-economic feasibility assessment. *Science of the Total Environment*, 690, 261-276.
- Sarwar, G. (1997). The protein digestibility–corrected amino acid score method overestimates quality of proteins containing antinutritional factors and of poorly digestible proteins supplemented with limiting amino acids in rats. *The Journal of nutrition*, 127(5), 758-764.
- Schaafsma, G. (2000). The protein digestibility–corrected amino acid score. *The Journal of nutrition*, 130(7), 1865S-1867S.
- Schaafsma, G. (2012). Advantages and limitations of the protein digestibility-corrected amino acid score (PDCAAS) as a method for evaluating protein quality in human diets. *British journal of nutrition*, 108(S2), S333-S336.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, SADER. (2022). Cultivo de trigo en México: todo lo que debes de saber [Online] (Actualizado 11 octubre 2022). Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-de-trigo-en-mexico-todo-lo-que-debes-de-saber>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA. (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030. Trigo grano cristalino y harinero mexicano [Online]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256434/B_sico-Trigo_Cristalino_y_Harinero.pdf
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. (2023). La importancia de los cereales en el sector alimentario [Online] (Actualizado 7 marzo 2023) Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/articulos/la-importancia-de-los-cereales-en-el-sector-alimentario?idiom=es>

- Sharma, R., Dar, B. N., Sharma, S., y Singh, B. (2021). In vitro digestibility, cooking quality, bio-functional composition, and sensory properties of pasta incorporated with potato and pigeonpea flour. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 23, 100300.
- Sharma, R., Sharma, S., Singh, B., y Kaur, G. (2018). Potato cereal extrudates: Chemical composition, functional properties, in vitro digestibility and consumer acceptability. *J. Nutr. Food Sci*, 8(2).
- Shewry, P. R. (2007). Improving the protein content and composition of cereal grain. *Journal of cereal science*, 46(3), 239-250.
- Simonato, B., Tolve, R., Rainero, G., Rizzi, C., Segà, D., Rocchetti, G., Lucini, L., y Giuberti, G. (2021). Technological, nutritional, and sensory properties of durum wheat fresh pasta fortified with *Moringa oleifera* L. leaf powder. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(5), 1920-1925.
- Simonato, B., Trevisan, S., Tolve, R., Favati, F., y Pasini, G. (2019). Pasta fortification with olive pomace: Effects on the technological characteristics and nutritional properties. *LWT*, 114, 108368.
- Singh, M., Manickavasagan, A., Shobana, S., y Mohan, V. (2021). Glycemic index of pulses and pulse-based products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(9), 1567-1588.
- Suarez-Espinel, A. (2015). *Desarrollo y supervisión del aprovisionamiento de géneros y mise en place*. Editorial Elearning, S.L.
- Sun, Y., Zhong, C., Zhou, Z., Lei, Z., y Langrish, T. A. (2022). A Review of In Vitro Methods for Measuring the Glycemic Index of Single Foods: Understanding the Interaction of Mass Transfer and Reaction Engineering by Dimensional Analysis. *Processes*, 10(4), 759.
- Sykut-Domańska, E., Zarzycki, P., Sobota, A., Teterycz, D., Wirkijowska, A., Blicharz-Kania, A., Andrejko, D., y Mazurkiewicz, J. (2020). The potential use of by-products from coconut industry for production of pasta. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(7), e14490.
- Tavano, O. L., Neves, V. A., y da Silva Júnior, S. I. (2016). In vitro versus in vivo protein digestibility techniques for calculating PDCAAS (protein digestibility-corrected amino acid score) applied to chickpea fractions. *Food Research International*, 89, 756-763.

- The Food Tech. (2021). La tendencia plant-based lleva a una vida saludable [Online] (Actualizado 23 septiembre 2021). Disponible en: <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/la-tendencia-plant-based-lleva-a-una-vida-saludable/>
- Thiranusornkij, L., Thamnarathip, P., Chandrachai, A., Kuakpetoon, D., y Adisakwattana, S. (2019). Comparative studies on physicochemical properties, starch hydrolysis, predicted glycemic index of Hom Mali rice and Riceberry rice flour and their applications in bread. *Food chemistry*, 283, 224-231.
- Tlais, A. Z. A., Fiorino, G. M., Polo, A., Filannino, P., y Di Cagno, R. (2020). High-value compounds in fruit, vegetable and cereal byproducts: an overview of potential sustainable reuse and exploitation. *Molecules*, 25(13), 2987.
- Tolve, R., Pasini, G., Vignale, F., Favati, F., y Simonato, B. (2020). Effect of grape pomace addition on the technological, sensory, and nutritional properties of durum wheat pasta. *Foods*, 9(3), 354.
- Tudorica, C. M., Kuri, V., y Brennan, C. S. (2002). Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(2), 347-356.
- Valencia-Romero, R., Trejo-García, J. C., y Ríos-Bolívar, H. (2023). Wheat Import Demand in Mexico: Evidence of Quantile Cointegration. *Agriculture*, 13(5), 980.
- Verdú, J. M. (2013). *Nutrición para educadores*. Ediciones Díaz de Santos.
- Vimercati, W. C., Macedo, L. L., Araujo, C. D. S., Maradini Filho, A. M., Saraiva, S. H., y Teixeira, L. J. Q. (2020). Effect of storage time and packaging on cooking quality and physicochemical properties of pasta with added nontraditional ingredients. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(9), e14637.
- Wang, J., Brennan, M. A., Serventi, L., y Brennan, C. S. (2022). Impact of functional vegetable ingredients on the technical and nutritional quality of pasta. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(22), 6069-6080.
- Wang, Y., y Jian, C. (2022). Sustainable plant-based ingredients as wheat flour substitutes in bread making. *npj Science of Food*, 6(1), 49.
- Wieser, H., Koehler, P., & Scherf, K. A. (2020). *Wheat-An exceptional crop: Botanical features, chemistry, utilization, nutritional and health aspects*. Elsevier.

- Wilson, J., Goldson-Barnaby, A., y Bailey, D. (2019). Melicoccus Bijugatus (guinep): Phytochemical Properties, Associated Health Benefits and Commercial Applications. *International Journal of Fruit Science*, 20(4), 659-666.
- Witono, J. R., Wijaya, L., Tan, D., Miryanti, A., y Santoso, H. (2014). The controlled-release fertilizer (urea and potassium phosphate) based on 'Canna edulis' Ker. Starch copolymer. In *Chemeca 2014: Processing excellence; Powering our future* (pp. 118-125). Barton, ACT: Engineers Australia.
- Wojciech, M., y Maciej, T. (2011). Color difference Delta E—A survey. *Mach. Graph. Vis*, 20, 383-411.
- Wolever, T. M. S., Jenkins, D. J. A., Kalmusky, J., Giordano, C., Giudici, S., Jenkins, A. L., Thompson, L. U., Wong, G. S., y Josse, R. G. (1986). Glycemic response to pasta: effect of surface area, degree of cooking, and protein enrichment. *Diabetes Care*, 9(4), 401-404.
- World Health Organization. (1998). Carbohydrates in human nutrition: report of a joint FAO/WHO expert consultation, Rome, 14-18 April 1997. In *Carbohydrates in human nutrition: report of a joint FAO/WHO expert consultation, Rome, 14-18 April 1997*.
- Xing, B., Zhang, Z., Zhu, M., Teng, C., Zou, L., Liu, R., Zhang, L., Yang, X., Ren, G., y Qin, P. (2023). The gluten structure, starch digestibility and quality properties of pasta supplemented with native or germinated quinoa flour. *Food Chemistry*, 399, 133976.
- Yaman, M., Sargin, H. S., y Mizrak, Ö. F. (2019). Free sugar content, in vitro starch digestibility and predicted glycemic index of ready-to-eat breakfast cereals commonly consumed in Turkey: An evaluation of nutritional quality. *International journal of biological macromolecules*, 135, 1082-1087.
- Yubero, I. D. (2017). Pastas alimenticias. *Distribución y consumo*, 27(146), 60-71.
- Zhang, G., y Hamaker, B. R. (2009). Slowly digestible starch: concept, mechanism, and proposed extended glycemic index. *Critical reviews in food science and nutrition*, 49(10), 852-867.
- Zhang, J. Y., Jiang, Y. T., Liu, Y. S., Chang, Q., Zhao, Y. H., y Wu, Q. J. (2020). The association between glycemic index, glycemic load, and metabolic syndrome: a systematic review and dose–response meta-analysis of observational studies. *European journal of nutrition*, 59, 451-463.

- Zhang, N., Wang, M., Fu, J., Shen, Y., Ding, Y., Wu, D., Shu, X., y Song, W. (2020). Identifying genes for resistant starch, slowly digestible starch, and rapidly digestible starch in rice using genome-wide association studies. *Genes & genomics*, 42(11), 1227-1238.
- Zhu, F. (2016). Structure, properties, and applications of aroid starch. *Food Hydrocolloids*, 52, 378-392.
- Zingale, S., Spina, A., Ingrao, C., Fallico, B., Timpanaro, G., Anastasi, U., y Guarnaccia, P. (2023). Factors Affecting the Nutritional, Health, and Technological Quality of Durum Wheat for Pasta-Making: A Systematic Literature Review. *Plants*, 12(3), 530.